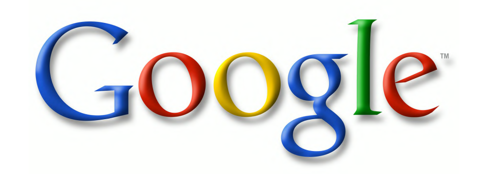
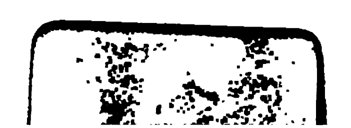








ESSAI

SUR LA

NAVIGATION AÉRIENNE

AÉROSTATION — AVIATION

PAR

E. LAPOINTE

ENSEIGNE DE VAISSEAU

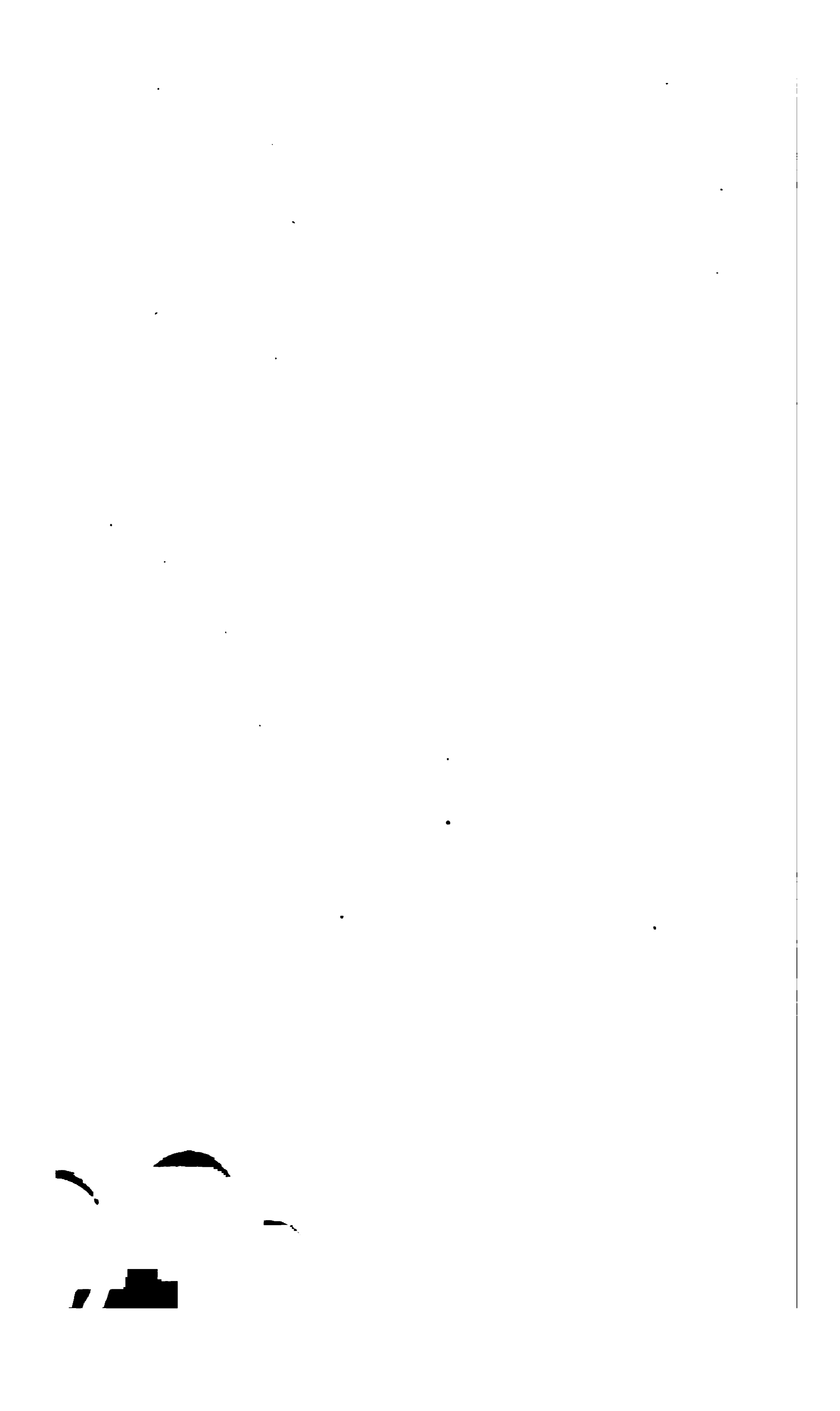


BERGER-LEVRAULT ET Cie, ÉDITEURS

PARIS — 5, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY — 18, RUE DES GLACIS

1896



ESSAI

SUR LA

NAVIGATION AÉRIENNE

AÉROSTATION — AVIATION

nier, mais toutes les tentatives demeurèrent sans résultats, et le public se désintéressa des ballons. Pendant plus de cinquante ans, les inventeurs eux-mêmes semblèrent renoncer à la poursuite de leur rêve. Le *plus lourd que l'air,* qui avait été complètement rejeté à l'apparition des aérostats, retrouva des défenseurs chaleureux, mais ceux-ci n'avaient pas encore abouti, quand les ballons allongés de Giffard et de Dupuy de Lôme semblèrent donner raison à la théorie de leurs adversaires. Mais le public, trop souvent trompé par de belles promesses, demandait mieux, et, s'il ne nia plus la possibilité d'arriver à un résultat, il en rabattit beaucoup des espérances qu'avait fait naitre d'abord la belle découverte d'Annonay, et l'on sembla vouloir restreindre l'application des ballons à l'art militaire. C'est à ce point de vue que l'ascension exécutée à Chalais-Meudon, en 1884, parut intéressante ; mais le secret dont on s'entoure dans les ateliers militaires n'est point fait pour rendre les faveurs de la foule aux ballons.

Cependant, les inventions de Lilienthal et de Maxim firent tout récemment un certain bruit dans la presse. Le premier, avec un simple appa-

reil planeur, sans moteur, parvint à se soutenir en l'air et à parcourir une distance de 300 mètres; les journaux d'outre-Manche parlèrent beaucoup de l'immense aéroplane de M. Hiram Maxim, dont on promettait merveille, et qui, essayé en septembre 1894, ne put s'enlever. En France, en Autriche, en Amérique, on poursuit activement des recherches sur l'aviation; mais, soit que les expériences demeurent secrètes, soit que l'on se tienne en garde contre les exagérations de publicistes mal informés, la question n'intéresse personne ou à peu près, surtout en France.

L'auteur a suivi avec un constant intérêt les recherches qui ont été faites, et il se propose ici, non pas de présenter au lecteur une invention, mais de l'entretenir d'une question trop ignorée, et d'exciter sa curiosité en lui faisant partager, s'il est possible, la conviction où il est, qu'avant peu l'homme volera.

Il n'a pas la prétention de faire un historique complet de la navigation aérienne; il n'a pas le loisir de rassembler tous les matériaux nécessaires à une telle entreprise, ni le talent qu'il faudrait pour la mener à bien. Il voudrait seulement mettre le lecteur au courant des principes sur les-

quels on s'appuie pour la recherche d'un problème intéressant et lui permettre de pouvoir discuter lui-même les chances qu'on a d'en trouver bientôt la solution.

Pour cela, il étudiera les appareils de types différents qui ont été imaginés dans ce but, il recueillera les données expérimentales qui ont pu être établies jusqu'à présent, et, avec ce bagage, il espère pouvoir démontrer qu'il est possible, en l'état actuel des choses, de réaliser un appareil qui permettra à l'homme de se déplacer dans l'air avec une très grande vitesse et une parfaite sécurité.

Dans la partie historique, l'auteur a jugé qu'il ne devait retenir que les appareils ou expériences pouvant servir au but poursuivi, qui est de démontrer la possibilité de l'aviation.

Il s'est donc peu étendu sur l'aérostation, sauf en ce qui concerne la thermosphère encore peu connue; il n'a pas insisté sur les arguments qui doivent faire abandonner les ballons, même fusiformes, comme moyens de locomotion aérienne, une simple comparaison faisant voir qu'ils sont condamnés par les progrès certains de l'aviation.

En ce qui concerne l'équilibre des plans dans

l'air et le vol des oiseaux, l'auteur n'a point voulu donner une théorie complète qui eût risqué de se trouver fausse ; mais il a pensé qu'une explication mathématique très simple viendrait utilement à l'appui des faits observés, qu'elle aiderait à admettre certaines assertions et qu'elle pourrait mettre en garde contre certaines erreurs de principe.

On trouvera que cet essai n'est pas exempt de critiques, mais l'auteur a cru faire œuvre utile en l'écrivant ; et c'est pour cela, et parce qu'il compte sur l'indulgence de ceux qui voudront bien le lire, qu'il le livre à la publicité.





ESSAI

SUR LA

NAVIGATION AÉRIENNE

PREMIÈRE PARTIE

L'AÉROSTATION

Ce ne fut qu'après que Torricelli et Pascal eurent démontré que l'air est un fluide pesant, que l'on put rationnellement songer à y faire flotter un corps léger, s'y soutenant sans mouvement.

Dès 1670, le jésuite Lana, de Brescia, donna la description d'un bateau volant qui, bien qu'il restât un objet de pure fantaisie, peut être regardé comme le précurseur du ballon. Ce vaisseau était soutenu par quatre globes de cuivre dans lesquels on aurait fait le vide : il était à mâts et à voiles. Lana assurait que les globes, devenus plus légers que l'air

ambiant, devaient supporter le système; les voiles auraient assuré la propulsion. La conception scientifique des globes vides était exacte, mais le père Lana ne pensait point à la force d'écrasement énorme que la pression extérieure devait exercer sur les globes. Quant à l'idée de la voile, qui assimilait son bateau aérien à un vaisseau poussé sur l'eau par le vent, elle est erronée, mais on ne saurait lui en vouloir, car cette idée fausse fut reprise après la découverte des aérostats.

Le père Galien, d'Avignon, fut plus logique à ce point de vue spécial, dans son *Art de naviguer dans les airs,* publié en 1755; il supposa l'air séparé en deux couches superposées d'inégale densité; mais son projet est par ailleurs si fantaisiste, qu'il est inutile d'insister.

Au commencement du XVIIIe siècle, un physicien portugais, du nom de Gusman, fit à Lisbonne une expérience publique, sur laquelle on n'a que des documents contradictoires. Selon les uns, il s'éleva dans un panier d'osier recouvert de papier; arrivé à la hauteur des toits, son panier s'accrocha, et il tomba, mais sans se faire aucun mal. Suivant une autre version, il fit élever dans les airs un panier d'osier recouvert de papier, sous lequel était allumé

un réchaud ; ce panier avait de sept à huit pieds de long, et s'éleva à deux cents pieds de hauteur. N'est-ce point là une véritable montgolfière ?

On connaissait déjà quelques gaz, mais on ne savait pas grand'chose de leurs propriétés. En 1761, Wallis démontra qu'ils se superposaient en équilibre dans l'ordre des densités. En 1766, Cavendish détermina la densité du gaz inflammable ; celui qu'il avait pu se procurer était impur, et ses moyens de mesure étaient imparfaits ; aussi trouva-t-il que l'hydrogène était sept fois moins lourd que l'air ; il a fait une erreur du simple au double, mais l'essentiel était de montrer la grande légèreté spécifique de ce gaz. Le docteur Blake signala le premier, qu'en remplissant une enveloppe légère avec de l'hydrogène, cette enveloppe devait enlever en l'air un certain poids. Tibère Cavalla voulut faire cette expérience avec des sacs en papier, mais le gaz se perdait, et les sacs ne s'envolèrent point ; il fut plus heureux avec des bulles de savon gonflées de gaz inflammable, mais l'expérience était moins concluante.

Toutes ces données scientifiques se trouvaient dans le célèbre livre de Priestley, intitulé : *des Différentes espèces d'air*, et c'est dans cet ouvrage

que les frères Montgolfier trouvèrent le germe de leur invention.

Ils avaient déjà songé à imiter la nature, en enfermant un nuage artificiel de vapeur d'eau dans une enveloppe à la fois légère et résistante qui aurait dû être soulevée, en même temps que la vapeur renfermée se serait soutenue en l'air comme un nuage. Mais la température extérieure condensait leur vapeur qui alourdissait l'enveloppe en papier, et celle-ci retombait bientôt sur le sol. La fumée produite par la combustion du bois ne leur donna pas de meilleurs résultats. Ce fut après ces tentatives qu'ils eurent connaissance du livre de Priestley, et ils remplacèrent aussitôt la vapeur d'eau de leur appareil par de l'hydrogène, mais ce gaz traversa le papier, et ils renoncèrent à son emploi.

Revenant à leur première idée, ils s'imaginèrent que l'électricité, que l'on venait de découvrir, était une des causes de l'ascension des nuages, et ils recherchèrent un gaz qui eût des propriétés électriques. Ils pensèrent le trouver en brûlant ensemble de la paille mouillée et de la laine : un parallélipipède creux en soie fut gonflé avec ce gaz, et les deux frères eurent la grande satisfaction de

le voir s'élever au plafond de la chambre. Cette expérience mémorable eut lieu au mois de mai 1782.

On a sévèrement critiqué la théorie que les frères Montgolfier ont donnée de l'ascension de leur ballon. De Saussure fit une expérience pour démontrer que cette ascension était due simplement à la légèreté spécifique de l'air chauffé contenu à l'intérieur; pour cela, il gonfla un petit ballon très léger de papier, en chauffant l'air intérieur avec une barre de fer rouge.

On va voir que ce qui est vrai pour le petit ballon en papier, ne peut s'appliquer à la montgolfière qui fut publiquement lancée le 5 juin 1783, à Annonay.

Cette machine avait une forme à peu près sphérique, et sa circonférence était de 110 pieds, ce qui lui donnait une capacité de 22,450 pieds cubes, soit 769 mètres cubes. Une fois gonflée, le poids de l'air qu'elle déplaçait était de 2,030 livres, et le poids nécessaire pour la maintenir à terre était de 490 livres. Comme son poids était de 500 livres, le poids du gaz contenu dans la montgolfière était de 1,040 livres; par conséquent sa densité était peu supérieure à 0.5. Pour obtenir ce

résultat avec de l'air sec, dont le coefficient de dilatation est de $\frac{1}{273}$, il faut doubler son volume, ce qui exige une température de 273°. Or, la température relatée dans l'expérience d'Annonay n'était que de 87° centigrades. Il y avait donc dans le ballon des gaz plus légers que l'air. D'une étude sur la thermosphère, faite par M. Emmanuel Aimé en 1893, il résulte que de la vapeur d'eau produite par un générateur Serpollet ne pèse que $0^{kg},590$ par mètre cube à 100°, c'est-à-dire que sa densité est inférieure à 0.46. Nous nous rappelons que le gaz Montgolfier était obtenu par la combustion d'un mélange de laine et de paille *mouillées;* nous devons donc attribuer à la vapeur d'eau la plus grande partie de la force ascensionnelle des montgolfières; et, si l'idée que les frères Montgolfier se faisaient de l'intervention de l'électricité dans leur appareil était erronée, la critique qui en était faite par de Saussure, et qui est encore généralement admise, n'est pas non plus tout à fait exacte.

Il était utile d'insister sur ce rôle de la vapeur d'eau dans les ballons dits à tort à air chaud, afin de combattre une erreur très commune. Du reste, on verra que pour les voyages au long cours en

aérostats, la vapeur d'eau semble présenter de sérieux avantages sur les gaz aérostatiques.

Avant que l'expérience d'Annonay pût être répétée à Paris, le professeur Charles fit construire, par les frères Robert, un aérostat qu'il parvint à gonfler avec de l'hydrogène, et qui s'éleva du Champ-de-Mars, le 27 août 1783, au milieu d'une affluence énorme.

Ce n'est que le 19 septembre de la même année que les Parisiens virent lancer la première montgolfière à Versailles, en présence du roi ; elle resta dix minutes en l'air et déposa à terre, sans accident, à une lieue de son point de départ, un mouton, un canard et un coq qu'elle avait emportés dans une cage d'osier suspendue au-dessous.

Le 21 novembre 1783, le premier voyage aérien fut exécuté dans une montgolfière, par Pilâtre des Rozier et le marquis d'Arlandes.

On avait remarqué que l'aérostat à gaz inflammable du professeur Charles s'était élevé bien plus rapidement et était resté en l'air bien plus longtemps que la montgolfière de Versailles. Immédiatement, la lutte s'engagea entre les deux systèmes qui eurent chacun leurs partisans convaincus. Les moyens primitifs employés pour obtenir le gaz

Montgolfier, les dangers d'inflammation en l'air, dus à la présence d'un réchaud, la plus grande liberté d'action qu'avaient les voyageurs avec le ballon à gaz, assurèrent bien vite le triomphe de ce dernier. Il fut complet quand on eut trouvé le moyen pratique de produire l'hydrogène en grand, et surtout quand Lebon eut trouvé, par la distillation de la houille, un gaz moins léger que l'hydrogène, il est vrai, mais beaucoup plus économique, plus facile à obtenir et surtout à conserver; l'emploi du caoutchouc et des vernis avait aussi permis bientôt de construire des aérostats relativement imperméables.

Quoi qu'il en soit, la postérité a justement conservé la paternité de l'invention des ballons aux frères Montgolfier; et cela d'autant plus justement que le ballon à vapeur d'eau, avec les ressources mécaniques actuelles, permettrait plus facilement que les aérostats à gaz de se maintenir longtemps en l'air, échappant précisément ainsi au premier reproche que l'on avait fait à la montgolfière.

I

Navigation aérienne par l'utilisation des courants atmosphériques.

Les ballons étaient à peine inventés que l'on chercha à les diriger dans l'air, mais les premières tentatives montrèrent que les espérances que l'on avait fondées sur ce moyen de locomotion étaient prématurées.

En dehors des aéronautes ignorants qui virent échouer toutes leurs inventions empiriques, beaucoup de savants s'occupèrent de la question. En 1784, Meusnier montra les difficultés que présentait le problème. Il calcula que, dans un air calme, les efforts des passagers d'un ballon, agissant sur un moteur approprié, ne pouvaient lui imprimer une vitesse de plus d'une lieue à l'heure. A cette époque on ne pouvait songer à embarquer, dans la nacelle d'un ballon, une machine motrice; de-

puis, les progrès de la mécanique ont permis d'obtenir des résultats sérieux, mais les difficultés restent les mêmes. Elles seront exposées après l'examen des différents systèmes qui furent essayés pour obtenir la direction, ou plutôt la propulsion des ballons.

En dépit, ou plutôt à cause de ces difficultés, beaucoup d'esprits sérieux, voulant utiliser quand même les aérostats, proposèrent de se servir des courants aériens au lieu de chercher à les vaincre. Leur idée était fortement appuyée par ce fait que la direction des courants d'air en un même endroit n'était pas la même suivant la hauteur à laquelle on se plaçait au-dessus du sol; on avait observé que les nuages chassaient souvent dans un sens contraire à celui du vent régnant à la surface. Si donc, ce vent n'était pas favorable à la direction que l'on désirait prendre, il était possible, en s'élevant plus ou moins haut, de trouver un courant se rapprochant de cette direction. Avec de nombreuses observations spéciales, on devait même arriver à établir des sortes de cartes de ces courants à diverses hauteurs. En manœuvrant convenablement pour profiter de tel ou tel courant, on devait pouvoir se rendre d'un point à un autre

point déterminé, en louvoyant, comme un navire à voiles qui, pour se rendre à sa destination, fait une route indirecte, résultant de la connaissance qu'a son pilote des vents régnants à la surface des mers. Le navire a, il est vrai, la faculté de faire diverses routes avec le même vent; mais en revanche, si le ballon doit toujours suivre le lit du vent, il a la propriété que n'a point le bateau, de changer de vent en faisant à volonté varier son altitude. La manœuvre se réduit donc à monter et à descendre; il importe d'examiner quelles sont ses conséquences sur l'équilibre du ballon dans l'atmosphère.

Lorsque cet équilibre existe, en vertu de la loi d'Archimède, il y a égalité entre le poids de tout le système aérostatique et celui de l'air déplacé. Le poids de l'air déplacé, en considérant que le volume de l'aérostat est constant s'il est supposé gonflé complètement, diminue quand la hauteur augmente, puisque la pression atmosphérique diminue en même temps. Le poids de la machine aérostatique se compose du poids de l'enveloppe, des agrès, des voyageurs, qui est fixe, du lest qu'on peut diminuer à volonté, et du poids du gaz enfermé dans l'enveloppe, qui dépend de la pression

à laquelle il se trouve, par conséquent de la hauteur à laquelle le ballon se tient en équilibre.

Supposons le ballon gonflé complètement, et en équilibre à une certaine hauteur; il ne s'y maintiendra pas longtemps, car, par suite de l'endosmose à travers une enveloppe qui n'est pas absolument imperméable (sans tenir compte des autres causes de perte de gaz et d'alourdissement, comme la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique quand la température diminue ou quand on traverse un nuage), par suite de l'endosmose, une certaine quantité du gaz intérieur s'échappe et est remplacée par de l'air extérieur, sans que le volume du système ait changé, et le poids du ballon est augmenté: il descend. Pour le faire remonter, il faut jeter une certaine quantité de lest. Si l'enveloppe du ballon était complètement fermée, le gaz intérieur conservant la tension qu'il avait après la descente, se trouverait après la remontée au milieu d'une masse d'air moins dense, et cette tension, qui ne serait plus équilibrée qu'en partie par l'air ambiant, s'exercerait en partie sur l'enveloppe dont la solidité serait compromise.

On est donc obligé de laisser à la partie inférieure du ballon un appendice ouvert par où

s'échappera l'excès de la masse gazeuse intérieure. Le système allégé du poids du lest jeté et de celui du gaz évacué se replacera en équilibre dans l'air à une hauteur un peu supérieure à celle d'où il était descendu. Pour les mêmes raisons que la première fois, il tombera encore; et, pour le faire remonter, on jettera une nouvelle quantité de lest, ce qui produira une nouvelle ascension plus forte que la précédente, mais aussi une nouvelle perte de gaz; et ainsi de suite successivement, de sorte que, au lieu de rester toujours au même niveau, le ballon exécutera une série de bonds successifs. La provision de lest aura été vite épuisée, la force ascensionnelle aura diminué : il arrivera bientôt un moment où le ballon descendu jusqu'à terre ne pourra plus s'élever; le voyage sera terminé. En fait, la moyenne du temps qu'un ballon peut passer en l'air ne dépasse pas quelques heures, les ascensions qui ont duré une journée sont très rares, et la plus longue de beaucoup est probablement celle qu'exécuta M. Mallet et qui dura trente-six heures et demie.

Dans ces ascensions de durée relativement longue, le lest était soigneusement ménagé, et les circonstances atmosphériques se trouvaient favo-



rables. S'il est question de manœuvrer pour rechercher les courants atmosphériques propices, ou pour atterrir de temps en temps, la durée d'une ascension sera encore bien plus réduite. On voit que l'utilisation des courants atmosphériques pour la navigation aérienne ne va pas sans de sérieuses difficultés.

Meusnier, qui le premier fit un traité rationnel de l'aéronautique, se rendit compte de ces particularités, et il proposa un ingénieux système pour supprimer les pertes de lest et de gaz par les manœuvres. Son ballon était formé d'une double enveloppe dans laquelle se trouvait de l'air refoulé par une pompe placée dans la nacelle. Au départ, le ballon intérieur n'était pas gonflé complètement et il y avait de l'air entre les deux enveloppes; la force ascensionnelle au départ amenait le ballon en équilibre à une certaine hauteur. Quand on voulait monter, on laissait échapper l'air comprimé dans la double enveloppe par la tension du gaz contenu dans le ballon intérieur; quand on voulait descendre, on refoulait de l'air dans la double enveloppe, au moyen de la pompe de la nacelle. Avec ce système, il n'y avait point de perte de gaz et l'on n'avait pas besoin de lest, ou plutôt





l'air extérieur servait de lest, et présentait cet avantage qu'on avait toujours sous la main une provision inépuisable.

Au lieu d'une double enveloppe, on pouvait aussi placer dans le ballon un autre ballon plus petit ou ballonnet contenant l'air et remplaçant la double enveloppe. Cette dernière disposition fut celle adoptée dès l'année 1784, par les frères Robert, dans un aérostat à gaz hydrogène avec lequel ils se proposaient de faire des essais sur la direction. Mais un accident qui faillit leur coûter la vie ne leur permit pas d'expérimenter leur ballonnet, non plus que leurs appareils de direction.

L'invention de Meusnier ne fut reprise que plus tard et appliquée aux ballons fusiformes dits dirigeables; le ballonnet est alors une poche à air, remplaçant la double enveloppe, à la partie antérieure inférieure du ballon: mais son rôle est surtout de maintenir la rigidité de la forme du ballon en évitant dans l'enveloppe des plis qui nuiraient considérablement à la propulsion. Du reste il est facile de se rendre compte que le ballonnet ne présente qu'à un faible degré les avantages que lui prêtait Meusnier; son emploi ne permet que de petites variations de hauteur, variations limitées

par la résistance des tissus constituant les enveloppes du ballon, et par le travail qu'il faudrait développer pour refouler de l'air à une certaine pression dans le ballonnet.

Le *guide-rope* imaginé par Green est plus avantageux que le ballonnet à air à ce point de vue spécial : économie de lest et de gaz. Il consiste en une corde d'une certaine longueur attachée à la nacelle, ou mieux au cercle qui supporte la nacelle et auquel sont fixées les cordes du filet, et traînant librement à l'extérieur. Quand le ballon se rapproche du sol, le guide-rope repose sur la terre par son extrémité et sur une certaine longueur qui augmente à mesure que le ballon descend davantage, et le poids du système se trouve diminué de celui de toute cette longueur de corde. Cette allégeance est la même que celle qu'on obtiendrait en jetant du lest, et la diminution de force ascensionnelle résultant des pertes de gaz, ou de la condensation de la rosée sur le ballon, est automatiquement compensée. On comprend qu'un tel dispositif puisse supprimer la manœuvre de la soupape ; pendant la nuit, ou par un temps brumeux il donne aussi la direction que suit le ballon ; enfin, il permet de régler facilement l'atterrissage.

Son emploi présente cependant de sérieux inconvénients qui font que le guide-rope n'est pas très en faveur auprès des aéronautes. D'abord, la hauteur d'une ascension se trouve limitée à quelques centaines de mètres au plus, à moins que l'on ne dispose d'une réserve de lest suffisante pour enlever complètement le guide-rope au-dessus du sol. Mais c'est surtout le danger que présente le traînage de cette corde sur la terre, où elle peut s'accrocher aux aspérités du sol et même s'enrouler autour d'un arbre, qui l'a fait abandonner. Cet inconvénient disparaîtrait sur la mer, mais si quelque audacieux a songé à traverser l'Atlantique en ballon, la triste aventure du *Horla* empêchera longtemps encore toute entreprise de ce genre.

Dans un projet de voyage au long cours proposé récemment pour l'exploration du continent africain, avec un ballon à gaz hydrogène, les auteurs ont imaginé un guide-rope perfectionné qui ne présenterait pas les inconvénients de celui de Green. Il serait fractionné en plusieurs câbles parallèles dont chacun pourrait, le cas échéant, servir de lest, et ces câbles d'inégale longueur seraient en fils d'acier, assez minces et assez rigides pour que



leur traînage ne ralentisse point sensiblement la marche et pour qu'ils ne risquent point de s'accrocher. Ce système rendrait certainement des services appréciables, mais il présente encore des dangers ; le commun des aéronautes trouvera qu'il est au moins une gêne, et le guide-ropage ne comptera jamais beaucoup de partisans.

Cependant, la nécessité qui a conduit à l'invention du ballonnet et à celle du guide-rope est telle que l'on ne s'en est point tenu là. On a essayé l'hélice-lest, et on a paru satisfait des résultats obtenus. Cette hélice, placée sous la nacelle, est à axe vertical ; on l'actionne soit à bras, soit au moyen d'un moteur de puissance relativement faible. En faisant tourner cette hélice dans un sens ou dans l'autre, elle aspire l'air de bas en haut pour faire descendre le ballon, ou elle le refoule de haut en bas pour le faire monter. Son emploi est bien défini par le capitaine Driant dans *la Guerre en ballon,* où il donne la description d'un ballon monstre qui résume tous les progrès de l'aérostation actuelle. L'hélice-lest a été employée aussi avec un certain succès sur des ballons sphériques, mais son poids ajouté à celui d'un moteur presque indispensable, et la gêne qu'elle présente

pour les atterrissages, font qu'elle n'a point non plus les suffrages des aéronautes.

. . . .

Les perfectionnements apportés dès l'origine, par l'intelligence du professeur Charles, dans la construction des ballons à gaz, et dans la pratique de l'aérostation, perfectionnements qui n'ont guère été dépassés depuis, ont fait immédiatement négliger la montgolfière. Depuis cent ans, on n'a point fait d'ascensions avec la machine qui, la première, transporta des voyageurs dans les airs. On a vu déjà les raisons de cette préférence ; mais le délaissement où elle est tombée est injuste, car la montgolfière a aussi ses avantages, et si l'on se fût attaché à la perfectionner, surtout en ce qui concerne le mode primitif de production du gaz qu'elle contient, elle eût pu soutenir la comparaison avec son heureux rival.

En 1784, à peine un an après la découverte des frères Montgolfier, le chimiste Proust et Pilâtre des Rozier franchirent avec une montgolfière une distance de treize lieues et s'élevèrent à une hauteur de trois mille cinq cents mètres. Dans la relation de ce beau voyage, Pilâtre des Rozier s'exprime ainsi : «... La simplicité de nos manœuvres

« nous permettait de parcourir des lignes horizon-
« tales et obliques, de monter, descendre, remon-
« ter et redescendre encore, et aussi souvent que
« nous le jugions nécessaire... », et, « ...notre
« descente fut si douce que mon compagnon me
« demanda si nous arrivions bientôt à terre... »

C'étaient là de beaux résultats et qui promettaient. Pourquoi n'a-t-on point continué ces belles expériences? Dans les *Merveilles de la science*, L. Figuier nous répond : « Le poids de la quan-
« tité considérable de combustible que l'on devait
« emporter, joint à la faible différence qui existe
« entre la densité de l'air échauffé et celle de l'air
« ordinaire, ne permettait pas d'atteindre à de
« grandes hauteurs. En outre, la nécessité cons-
« tante d'alimenter le feu absorbait tous les mo-
« ments des aéronautes et leur ôtait le moyen
« de se livrer aux expériences et à l'observation
« des instruments. »

Ce jugement est facile à critiquer. D'abord, on vient de voir qu'on avait atteint une altitude de 3,500 mètres avec une montgolfière, et rien ne prouve qu'on n'eût pu la dépasser. Ensuite il a été déjà montré que l'on avait tort d'attribuer à l'air chaud seulement la force ascensionnelle d'une

telle machine, et que cette force était due surtout à la production de la vapeur d'eau provenant de la combustion de la paille mouillée, par laquelle on croyait entretenir seulement la dilatation de l'air intérieur. N'était-il pas possible d'employer un autre combustible et d'essayer d'autres moyens de production de vapeur et d'air chaud qui laisseraient toute liberté d'action aux voyageurs ?

M. Emmanuel Aimé, un des directeurs de l'Union aérophile de France, a répondu à ces questions en créant la thermosphère. Voici comment il expose son invention :

« Il n'existe que quatre gaz aérostatiques : l'hy-
« drogène, le mélange complexe connu sous le
« nom de gaz d'éclairage, l'ammoniaque et la
« vapeur d'eau.

« Les deux premiers ont donné ce que l'on sait.

« Le troisième reste à expérimenter.

« Voici mes essais sur la vapeur d'eau :

« Je me sers d'un ballon de $1^m,50$ de diamètre,
« que j'ai construit, tantôt en soie, tantôt en
« coton. Il est imperméabilisé d'une façon un peu
« spéciale. En dessous, un ballon de verre, à
« moitié rempli d'eau, est fermé par un bouchon
« de liège que traversent deux tubes de verre. Le

« premier de ces tubes plonge inférieurement dans « l'eau, tandis que son autre extrémité débouche « dans l'appendice du ballon d'étoffe. Le deuxième « s'ouvre, d'une part, dans le col du ballon de « verre, et, d'autre part, un peu au-dessous du « centre dans le ballon supérieur. Tous les deux « sont d'ailleurs munis de robinets permettant d'é-« tablir ou d'intercepter, au gré de l'expérimen-« tateur, la communication des deux ballons en-« semble ou avec l'air extérieur. Tout le système, « convenablement suspendu, repose sur un brûleur « à gaz, dont on peut à volonté régler l'intensité.

« Dès que l'eau est portée à l'ébullition, sa va-« peur pénètre dans le ballon d'étoffe d'abord « replié sur lui-même, et le gonflement commence. « Le thermomètre plongeant au sein de la sphère « marque 100°, et l'on voit, pendant toute la du-« rée de l'expérience, des gouttelettes d'eau liqué-« fiée ruisseler le long des parois intérieures, « quand ces parois sont translucides. Des nuages « formés par un commencement de condensation « marchent du centre vers la périphérie, en aug-« mentant d'opacité.

« La vapeur condensée en eau descend, s'écoule « par le tube plongeant et revient au générateur,

« d'où elle repart incessamment. J'ai souvent fait « durer l'expérience des journées entières afin de « mesurer, avec plus d'approximation, le poids du « combustible nécessaire pour le gonflement du « ballon pendant un temps déterminé.

« Les chiffres obtenus ne concordent guère « entre eux, par suite d'erreurs inévitables. Une « porte, une fenêtre ouvertes, un courant d'air, « l'état thermique de l'air, un rayon de soleil, un « poêle allumé dans le voisinage, etc., une foule « de causes font varier continuellement le refroi- « dissement.

« Pour ne pas m'astreindre à une surveillance « continue, j'ai imaginé un réglage automatique. « Au moment où le ballon complètement gonflé « se tend avec effort, il entraîne une cordelette « qui, pressant le tuyau de caoutchouc du robinet, « intercepte plus ou moins le passage du gaz. « Grâce à la faible masse d'eau en ébullition, le « gonflement suit immédiatement les variations de « débit du brûleur, et peut être porté jusqu'à ses « extrêmes limites sans danger de rupture. La « peau du ballon résonne alors comme celle d'un « tambour, et le tube manométrique indique une « pression de quelques millimètres d'eau. Même

« dans ces conditions, si le ballon est bien construit,
« il ne se perd pas un atome de vapeur. Le poids
« du système est après l'expérience ce qu'il était
« avant. Ce résultat est dû, sans doute, à la faible
« couche d'eau liquide qui, ruisselant sans cesse
« sur les parois intérieures, y forme un vernis hy-
« draulique d'une haute perfection...

« J'ai observé depuis que la dépense de com-
« bustible est singulièrement réduite lorsqu'on pro-
« tège le ballon avec des chiffons de soie ou une
« simple enveloppe de papier. La ouate m'a donné
« les meilleurs résultats. Je n'ai pas essayé le du-
« vet.

« Il ne serait pas absurde de tenter une expé-
« rience analogue sur un aérostat gonflé à la va-
« peur d'eau. Toutefois, pratiquement, l'édredon
« sphérique n'irait pas sans quelques difficultés. Il
« est mieux de pouvoir s'en passer.

« J'ai cherché à le remplacer par un matelas
« d'air renfermé d'abord entre deux étoffes ver-
« nies. Puis, ces deux étoffes étant encore une
« complication, j'ai été conduit à mélanger simple-
« ment un peu d'air à la vapeur. L'entraînement
« se fait par un ajutage conique semblable à celui
« des brûleurs, et peut être interrompu à volonté.



« Ici, le succès a dépassé mes espérances. Le « courant continu qui s'établit du centre à la péri- « phérie transporte et maintient l'air mélangé de « vapeur dans le voisinage des parois, où son rôle « protecteur est le plus efficace. Voici comment je « m'en suis assuré. Un tube voisin du thermo- « mètre glisse à frottement dans une douille (à la « partie supérieure du ballon d'étoffe). On recueille, « lorsqu'on ouvre le robinet, un mélange d'air et « de vapeur. Si on enfonce davantage, il ne fournit « que de la vapeur, l'entraînement d'eau étant « supposé interrompu. Les indications du thermo- « mètre, glissant également dans sa douille, sont « concordantes. Si le réservoir est dans la région « centrale du ballon, l'instrument marque 100°. « Pour d'autres positions, ses indications baissent « à mesure qu'on le remonte, ou qu'on l'incline « vers les parois. Il m'a été possible de vérifier « qu'elles sont conformes aux résultats fournis par « le calcul des températures dans un mélange « d'air et de vapeur sous la pression normale.

« Lorsque les parties centrales, dans un rayon « assez étendu, demeurent à 100°, l'enveloppe elle- « même possède une température très peu supé- « rieure à celle du milieu ambiant.

« Dans ces conditions, le refroidissement est très « lent, et par conséquent la dépense de combus- « tible très faible. Un nuage, en forme de couronne « sphérique, protège la vapeur centrale. Je suis « persuadé qu'au milieu d'un ballon de médiocres « dimensions on pourrait arriver à fondre du pla- « tine, sans élever d'une façon bien sensible la « température des couches excentriques.

« Pour estimer approximativement la déperdi- « tion du calorique due aux refroidissements de « l'enveloppe, j'ai varié l'expérience.

« Au lieu de ramener l'eau de condensation dans « le générateur, je l'ai recueillie et je l'ai pesée au « dehors. Il ressort d'une série de résultats assez « différents, qu'un mètre de surface protégée par « le matelas d'air, ne condense pas plus de « 100 grammes de vapeur dans une heure. Un « aérostat de 1,000 mètres cubes, tonnage courant, « ne liquéfierait pas plus de 50 kilogr. de vapeur « à 100° dans le même temps. Si l'on réfléchit « que la région centrale est bien plus éloignée du « milieu ambiant que dans mes ballons d'expé- « rience, où elles sont relativement au contact de « la surface refroidissante et que, par conséquent, « on bénéficie du temps que la vapeur met à se

« dissoudre dans le matelas protecteur, on voit que « ce chiffre de 50 kilogr. demande à être réduit, « et peut-être de beaucoup.

« Je le prends cependant tel qu'il est, et je cal- « cule : un kilogramme de vapeur à 100° dans son « retour à l'état liquide abandonne 537 calories; « ce nombre multiplié par 50 donne 26,850 ca- « lories.

« D'autre part, un kilogramme de charbon peut « fournir 7,000 calories, l'essence de térébenthine « en donne 10,000. Un combustible fournissant « seulement 5,000 calories utilisées maintiendrait « donc le ballon gonflé pendant une heure, pour « une dépense en kilogrammes représentée par le « quotient $\frac{26,850}{5,000}$, soit 5 kilogr. environ.

« Avec un chargement de 100 kilogr., l'aérostat « pourrait aller 20 heures, après quoi il n'y aurait « plus qu'à le ravitailler en combustible pour lui « faire fournir une seconde traite.

« Considéré sous ce nouvel aspect, le ballon est « assimilable à la locomotive et au bateau à va- « peur; il voyage en faisant escale, et le moindre « village rencontré peut lui fournir ce dont il a « besoin pour continuer sa route. Sa vapeur est « inusable... Dans un dernier perfectionnement,

« Serpollet est parvenu à associer deux qualités « qui semblent s'exclure : la légèreté et la résis- « tance.

« La vapeur peut sortir du générateur à des « températures très élevées. J'ai vu, de mes yeux, « un tube qu'elle traversait, rougir, par le fait de « son passage, sur une longueur de deux mètres, « à l'abri du rayonnement du foyer.

« Quel est le poids d'un mètre cube de vapeur « dans cet état spécial ? Il est évidemment très « faible, déjà à 100° il n'atteint que $0^k,590$.

« Sa force ascensionnelle est de

$$1^k,293 - 0^k,590 = 0^k,703$$

« Elle est supérieure à celle du gaz ordinaire des « ballons. 1,000 mètres cubes de vapeur à 100° « peuvent enlever 703 kilogr. En retranchant de « ce poids celui du matériel aérostatique et du « générateur, il reste bien assez pour le charge- « ment du combustible. Ces questions seront du « reste traitées ultérieurement.

« Aujourd'hui, je me contente de présenter au « lecteur le schéma du dispositif projeté pour la « thermosphère.

« Un ballon de 1,000 mètres cubes au mini-
« mum supporte un cercle auquel sont suspendus
« d'une part la nacelle, et, d'autre part, le géné-
« rateur Serpollet surmonté d'un réservoir. Un
« robinet permet de régler le débit de vapeur, en
« même temps que l'entraînement de l'air.

« La vapeur arrive dans le ballon par un tube
« terminé en forme de pomme d'arrosoir. L'eau
« de condensation coule d'abord à la partie infé-
« rieure de l'aérostat, puis revient d'elle-même
« au réservoir. Sa seule pression suffit pour déter-
« miner le fonctionnement du générateur qui ne
« comporte ni pompes, ni autres organes en mou-
« vement. Tantôt liquide, tantôt vaporisée, l'eau
« recommence incessamment la même circulation.

« Le robinet, réglé pour un certain débit, permet
« d'obtenir l'équilibre. Plus ouvert, il procure
« l'ascension, moins ouvert ou fermé, il fait des-
« cendre... »

Cette thermosphère, telle que son auteur la décrit, permettrait de se maintenir longtemps en l'air et ferait faire un sérieux progrès à la navigation aérienne par l'utilisation des courants atmosphériques. Cependant, sa réalisation pratique ne va pas sans quelques réserves.

Mais la question est déjà étendue ; cette insistance sera excusée en quelque sorte par l'intérêt qu'il y avait à exposer le principe d'une invention encore peu connue et que son auteur a déduite avec beaucoup de sagacité des expériences des frères Montgolfier, dont il a ainsi affirmé le génie inventif.

Dans ce chapitre sont résumés les essais tentés pour obtenir un ballon capable de se maintenir presque indéfiniment en l'air, instrument indispensable à la navigation aérienne sans moteur. Ces essais ne seront sans doute pas longtemps poursuivis, car, fût-on en possession d'un ballon idéal, conservant indéfiniment sa force ascensionnelle dans toutes les circonstances, il ne semble pas que l'on parvienne jamais à une connaissance telle du régime des vents à diverses altitudes, qu'on y puisse compter pour se rendre en ballon d'un point à un autre désigné d'avance. Du reste, les progrès certains de l'aviation rendent superflues toutes discussions sur ce sujet.

II

La direction des ballons ronds.

Avant la découverte des ballons, Blanchard s'était occupé déjà d'aviation. Il avait construit une machine à voler, avec laquelle il était parvenu à se maintenir, pendant quelque temps, stationnaire à une certaine hauteur, soutenu seulement par un contrepoids de 20 livres, mais il ne put jamais s'envoler librement.

L'invention d'Annonay l'enthousiasma au plus haut point, et il songea de suite à l'utiliser pour faire l'application de son appareil. Il pensa, avec quelque apparence de raison, qu'en remplaçant le contrepoids de ses expériences par un ballon, il pourrait se déplacer dans l'air. Dans sa première ascension, qu'il fit au Champ-de-Mars, le 2 mars 1784, il adapta donc le dispositif de son bateau volant à la nacelle de son ballon. Ce dispositif consistait essentiellement en deux ailes et en un gouvernail



légers et de grande surface, que l'aéronaute devait actionner quand il serait parvenu à une certaine hauteur. L'ascension se fit difficilement, après des péripéties qui détériorèrent l'appareil. Blanchard affirma néanmoins qu'avec ses rames et son gouvernail il s'était dirigé contre le vent, mais les témoins de son expérience assurèrent qu'il n'obtint aucun résultat. Dans les nombreuses ascensions qu'il fit par la suite, il s'obstina à emporter son appareil, mais il ne semble pas qu'il aboutît à s'en servir jamais utilement, et il finit par renoncer à son idée.

Des essais plus sérieux furent entrepris la même année, avec un aérostat à gaz hydrogène, construit sous les auspices de l'Académie de Dijon, et qui fit plusieurs ascensions, muni d'un appareil construit par Guyton de Morveau.

Se rendant compte que le déplacement dans l'air de la masse énorme que présentait un ballon sphérique était rendu plus difficile par la résistance de cette masse, Guyton de Morveau munit son ballon d'une proue. Vers la moitié du globe, le ballon était entouré d'un cercle en bois qui servait d'attache aux mailles du filet recouvrant la calotte supérieure, et aux cordes qui supportaient

la nacelle. La proue se composait d'une voile de sept pieds de haut et de onze pieds de long, tendue sur un cadre en bois fixé lui-même sur le cercle qui entourait le ballon. A l'opposé de la proue, et de la même façon, était installée une autre voile de soixante-six pieds carrés qui devait agir comme un gouvernail ; à cet effet, elle était actionnée par des cordes aboutissant à la nacelle. En outre, deux rames étaient placées de chaque côté, entre la proue et le gouvernail, actionnées également par des cordes : elles devaient servir, avec deux rames plus petites placées dans la nacelle, à la propulsion du système.

L'idée de la proue était bonne, mais on comprend que, installée comme elle l'était, son efficacité était absolument nulle : une poupe eût été, du reste, tout aussi indispensable. Les ailes équatoriales, pour produire un effet utile, eussent exigé un mouvement assez compliqué, que leur disposition ne permettait pas de leur imprimer. Le gouvernail seul et les rames de la nacelle permirent quelques manœuvres dans l'ascension du 12 juin 1784. Guyton de Morveau en rend compte dans sa *Description de l'aérostat de l'Académie de Dijon.*

«... Le gouvernail déplaçait l'arrière, et portait « le cap du côté que nous désirions, en changeant « à chaque fois la direction de 3° ou 4° sur la « boussole... Les rames, jouant d'un seul côté, « appuyaient le gouvernail et hâtaient le dépla- « cement; jouant ensemble, elles faisaient aller « en avant..., nous prîmes la résolution de nous « porter en droite ligne sur Dijon... Ayant viré « par le gouvernail, nous fîmes force de rames et « nous voguâmes, en effet, dans cette direction, « sur une longueur d'environ 200 toises. Nous au- « rions rempli probablement notre projet, si nous « eussions pu suffire au travail qu'il exigeait; mais « la chaleur et la fatigue nous obligèrent de le « suspendre...; nous reprîmes courage, espérant « arriver à quelque lieu déterminé, et nous fîmes « une route d'environ 500 toises sur une certaine « ligne. Nous reconnûmes bientôt que, malgré « tous nos efforts, nous tournions sur Bellevue..., « le gouvernail seul décidait la position; le dépla- « cement était plus prompt, quand on faisait tra- « vailler en même temps les rames de l'équateur « et même de la gondole... »

On voit en somme que les résultats de ces expé- riences, faites très sérieusement et à grands frais,

sont des plus minimes. On a obtenu assez facilement l'orientation du système, mais le travail considérable exigé pour actionner simultanément les rames des deux côtés, dans le même sens, à l'effet d'obtenir la propulsion, a permis à peine de parcourir quelques centaines de mètres dans un air presque calme. C'est la force qui manque ; on ne pouvait alors songer à l'emploi de moyens mécaniques puissants.

Il a déjà été question de l'ascension faite à Saint-Cloud, le 15 juillet 1784, avec un ballon muni d'un ballonnet intérieur. Elle était faite surtout en vue d'expérimenter un appareil de direction consistant en un gouvernail et une paire de rames placés sur la nacelle. Pour diminuer la résistance, on avait aplati le ballon en forme de mandarine ; on avait même donné une forme allongée à la nacelle. Ces dispositions étaient certainement plus judicieuses que celles employées par Guyton de Morveau, mais elles ne purent être éprouvées à cause de l'accident causé par la chute du ballonnet sur l'orifice inférieur du ballon. D'ailleurs le perfectionnement était trop peu sensible pour que les résultats eussent été supérieurs à ceux obtenus à Dijon. Ici encore, la force faisait surtout défaut.



Dans la première ascension faite en Angleterre, le 14 septembre 1784, Lunardi s'était muni d'une rame pour gouverner. On comprend qu'elle ne lui fut d'aucune utilité.

Le docteur Potain, qui traversa le canal de Saint-Georges, avait perfectionné l'appareil de Blanchard; on prétend qu'il en tira quelque profit.

Le 11 juillet 1785, l'abbé Miollan et Janninet devaient faire, à Paris, une ascension, pour expérimenter deux moyens de locomotion différents. Ils devaient avoir deux ballonnets, l'un rempli de gaz, s'élevant au-dessus de leur montgolfière, l'autre plein d'air, pendant au-dessous de la nacelle. Ces deux ballonnets devaient leur montrer la direction des courants supérieur et inférieur, et ils auraient manœuvré pour se placer dans celui qui serait le plus favorable à leur route. Ce n'est pas là un moyen de direction, mais bien un procédé de navigation dont il a déjà été question.

Le second moyen de propulsion, assez original, était de l'invention de Joseph Montgolfier et dérivé du tourniquet hydraulique. On pratiquait sur un côté du ballon, une ouverture par laquelle s'échappait l'air dilaté de l'intérieur; la réaction sur la paroi opposée poussait la machine en sens con-

traire à celui de l'échappement du gaz; si l'ouverture avait un pied de diamètre, la vitesse atteindrait six lieues à l'heure. La montgolfière ayant pris feu, ce procédé ne put être essayé. Il serait facile de démontrer que la vitesse obtenue eût été très inférieure à six lieues à l'heure, et il eût été bien difficile de maintenir la force ascensionnelle.

On peut rapprocher de cette bizarre invention, un projet récent, imaginé en Amérique, par le général Russell, et dont le succès imaginaire fit un certain bruit dans la presse. Le ballon dirigeable du général Russell devait avoir une vitesse de 30 milles à l'heure, et cette vitesse était obtenue par la réaction d'un jet d'air comprimé lancé de l'arrière : l'air était accumulé dans de vastes réservoirs sous une haute pression. Par ailleurs, le ballon était copié sur celui de Giffard: il était à gaz, avait 65 mètres de long et 15 de diamètre; pourvu d'artillerie, il devait représenter une puissante machine de guerre. Il est inutile de faire intervenir le calcul, pour montrer ce qu'un tel projet a de fantaisiste.

En août 1785, le comte d'Artois s'éleva dans un ballon construit par Alban et Vallet, et qui était muni d'un système de propulsion consistant en



deux ailes à quatre branches obliques, qu'on faisait tourner comme un moulin à vent. C'était peut-être la première application de l'hélice; elle ne fut point heureuse. Il est probable que si les ailes avaient pu être mues assez rapidement, elles eussent eu une action supérieure à celle des rames du ballon de l'Académie de Dijon.

Monge avait proposé, peu de temps après la découverte des ballons, un système de vingt-cinq petits ballons attachés les uns à la suite des autres, de façon à former une sorte de chaîne flexible dans tous les sens. Chaque ballon aurait, dans sa nacelle, deux hommes d'équipage qui manœuvreraient à la montée et à la descente, suivant un plan convenu d'avance et d'après les signaux du capitaine de ce singulier navire. Celui-ci se mouvrait ainsi dans les airs suivant un plan vertical, comme un serpent se meut horizontalement sur la terre.

La propulsion ainsi obtenue, un gouvernail assurerait la direction. Ce projet n'a en soi rien d'impraticable, mais on se rend bien facilement compte des difficultés de toutes sortes que son exécution présente, et l'on ne saurait ainsi obtenir une bien grande vitesse.



Un journal de Marseille rapportait récemment qu'un inventeur de cette ville aurait résolu le problème de la navigation aérienne au moyen d'un système de deux ballons conjugués. On ne donnait aucun renseignement sur la façon dont les deux ballons étaient manœuvrés, mais il semble que ce projet peut être rapproché de celui de Monge. Les éléments nécessaires pour en faire la critique manquant, on ne saurait le condamner précipitamment, mais il y a quelque apparence que, si l'inventeur avait obtenu un résultat, ce système qu'il *aurait expérimenté* ne serait pas absolument son secret.

Dupuis-Delcourt, aéronaute de la cour pendant la Restauration, avait imaginé une *flottille aérienne,* dont il fut beaucoup parlé. Sur la nacelle d'un grand ballon étaient disposées en croix deux vergues, portant à leurs extrémités des poulies dans lesquelles passaient les cordes retenant quatre ballonnets de quatre mètres de diamètre, qu'on pouvait par ce moyen retenir à des hauteurs relatives variant à volonté. Il paraît que ce système devait servir à la navigation aérienne par l'utilisation des courants atmosphériques; mais il faut sans doute y voir un appareil de direction particulier, car le

diamètre des *quatre* ballonnets semble bien grand pour de simples ballons plongeurs. Ceux-ci, tout en ayant un volume moindre que celui du ballon principal, pouvaient avoir une surface plus grande; ils pouvaient donc dans certains cas remorquer le ballon. Mais c'est là une idée hasardée, sur laquelle il est d'ailleurs inutile de s'appesantir. Les tentatives de direction de Dupuis-Delcourt échouèrent.

Le malheureux inventeur ne fut pas plus heureux avec son ballon tout en cuivre.

Il est encore l'auteur d'un autre projet, mais comme celui-ci repose sur un principe tout différent de ceux qui précèdent, il sera réservé pour un autre chapitre qui servira de transition naturelle entre l'aérostation et l'aviation.

M. Andrée, ingénieur en chef du bureau des patentes du royaume de Suède, vient de soumettre aux académies de Stockholm et de Paris, un projet de voyage au pôle en ballon, qu'il se propose de faire en août 1896. Son ballon, d'un tonnage de 5,000 mètres cubes, serait à double enveloppe, gonflé à l'hydrogène, et pourrait porter 3 voyageurs avec des approvisionnements pour quatre mois; il serait muni d'une sorte d'appareil de direction. Cet appareil se composerait essentiellement d'une



voile fixée suivant un des méridiens du ballon et d'un guide-rope fixé à volonté sur l'un des vingt-quatre crochets disposés régulièrement sur le cercle de suspension de la nacelle. Si le guide-rope est croché dans le même méridien où se trouve fixée la voile, celle-ci n'a aucun effet, et le ballon dérive comme à l'ordinaire dans le lit du vent; si le guide-rope est fixé dans le méridien perpendiculaire à celui de la voile, le ballon dérive encore dans le lit du vent, mais avec plus de vitesse. Si le guide-rope occupe une position intermédiaire, la voile se présentera obliquement au vent, et le ballon, au lieu de suivre le lit du vent, en sera écarté et sa route fera avec lui un certain angle qui serait en moyenne de 27° et dans certains cas de 40°, suivant les observations que M. Andrée aurait faites dans des ascensions préparatoires en 1893 et 1894. En somme, on voit que dans ce projet, le ballon est mis dans les conditions d'un navire à voiles, la résistance de la carène dans l'eau étant remplacée par le traînage du guide-rope sur le sol. L'angle que M. Andrée prétend faire avec la direction du vent doit être fort exagéré; on l'atteindrait difficilement en fixant le guide-rope au sol de façon à rendre le ballon captif; encore faudrait-il que la

surface de la voile par rapport à la section du ballon fût suffisante et il paraît assez difficile que cette surface atteigne celle d'une section méridienne d'un ballon de 5,000 mètres de jauge. Quand le guide-rope n'est plus fixé, la résistance qu'il peut présenter, surtout en traînant dans la mer, est assez faible, et, quelle que soit l'orientation de la voile, le ballon suivra à peu près le lit du vent, surtout si celui-ci est fort. Il paraît qu'en été le climat des régions arctiques est très uniforme et les vents très faibles; le ballon de M. Andrée mettrait alors plus de quarante-trois heures pour aller du Spitzberg au pôle; et comme il ne s'agit en somme que de profiter d'un bon vent, en corrigeant sa direction d'un façon très restreinte, il serait plus simple et plus sûr de se servir d'un ballon fusiforme à propulseur dont la machine, en quelques heures, ferait plus de besogne utile que l'appareil de M. Andrée en deux jours. Au reste, si le ballon proposé pour l'exploration des régions boréales peut se soutenir en l'air pendant quatre mois, et si les circonstances atmosphériques ne sont point défavorables, on peut espérer que, si M. Andrée n'a pu atteindre le pôle même, il reviendra de son voyage d'exploration avec une ample moisson d'ob-

servations de toutes sortes, et, si son entreprise paraît trop osée, on ne peut qu'applaudir à cet esprit de dévouement à la science que tant d'autres ont payé de leur vie, dans ces mêmes régions dont M. Andrée veut pénétrer le secret.



III

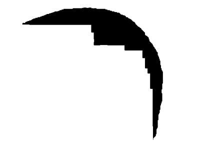
Les ballons fusiformes.

On s'était vite rendu compte de la résistance énorme qu'un ballon sphérique présentait au vent, et l'on a déjà vu quelques tentatives faites dans le but d'atténuer cette résistance.

En 1788, Scott de Martinville avait projeté la construction d'un aérostat en forme de poisson, muni d'une nageoire articulée à l'arrière, qu'on aurait fait agir à la façon d'une godille. Ce plan ne fut point exécuté par son auteur.

Pauly, de Genève, reprit l'idée en 1816 ; il fit un ballon en forme de baleine, mais le succès ne couronna point ses tentatives de direction.

Plus tard, Julien construisit un navire aérien qui avait quelque analogie avec les précédents ; il était allongé en forme de fuseau, muni d'une queue et de nageoires latérales. Il paraît que les





expériences faites avec cette machine furent concluantes.

Genet, qui fit des ascensions en Amérique, proposa en 1825 un ballon de forme ovoïde et allongée qui aurait eu une longueur de 45 mètres, une largeur de 15 et une hauteur de 18. Un manège, mû par des chevaux, aurait actionné le propulseur qui était une sorte d'hélice.

De Lennox jeta toute sa fortune dans la construction d'un ballon de 50 mètres de long sur 20 de large ; il ne put s'enlever.

En 1839, Eubriot fit une ascension avec un ballon offrant la forme d'un œuf, qu'il présentait le gros bout en avant, d'où une polémique d'ailleurs stérile et bien inutile à l'époque. Deux moulinets mus à bras d'hommes ne pouvaient du reste produire un résultat appréciable.

Delamarne ne fut pas plus heureux, en 1866, avec un aérostat pourvu de rames en forme d'hélice.

Dans tous ces essais, on avait bien diminué la résistance au mouvement d'une façon notable et rationnelle, mais on n'avait pas fait grand'chose pour augmenter la force, et les propulseurs étaient généralement mal conditionnés.

Les progrès de la mécanique ne permettaient l'emploi d'autre moteur que la machine à vapeur; et outre le poids d'une telle machine encore peu perfectionnée, il y a quarante ans, il y avait un danger sérieux à placer une chaudière allumée sous un aérostat plein de gaz hydrogène; on devait redouter le sort de Pilâtre des Rozier avec son aéro-montgolfière.

L'ingénieur Giffard fit des expériences montrant que ce danger pouvait être évité, et, grâce à un génie inventif prononcé et à un esprit réfléchi qui ne laissait rien au hasard, il parvint le premier à construire un aérostat avec lequel il put réellement se diriger dans l'air.

Le premier ballon de Giffard, en forme de fuseau allongé, terminé en pointe à ses deux extrémités, avait 44 mètres de long, 12 mètres de diamètre en son milieu, et pouvait contenir 2,500 mètres cubes de gaz. Sauf aux pointes, il était enveloppé à sa partie supérieure par un filet, dont les extrémités en patte d'oie venaient se rattacher par une série de cordes à une traverse horizontale en bois de 20 mètres de longueur. A 6 mètres au-dessous de cette traverse était une plate-forme assez réduite sur laquelle se tenait l'ingénieur,

et qui portait la machine avec tous ses accessoires.

Entre la traverse et le ballon, sur la dernière corde les reliant et lui servant de charnière, une voile triangulaire était établie, que l'on pouvait manœuvrer au moyen de cordes venant de la plate-forme. Quand cette voile était maintenue dans le plan vertical de l'axe du ballon, elle remplissait le rôle de quille et assurait la stabilité de route du système en marche; quand on la tirait à droite ou à gauche, elle remplissait l'effet d'un gouvernail qui se montra très sensible.

La chaudière était verticale et à foyer intérieur sans tubes; le tuyau de la cheminée était renversé de haut en bas, et la fumée était chassée dans la direction opposée au ballon par l'emploi du tirage forcé à vapeur, qui avait aussi l'avantage de refroidir cette fumée et d'activer la chauffe. La chaudière était en grande partie recouverte par une enveloppe en tôle empêchant le rayonnement, et le coke, qui était le combustible employé, brûlait dans un foyer complètement entouré d'un cendrier, de sorte qu'il n'y avait pas danger d'avoir des flammes à l'extérieur.

La machine était à un cylindre vertical, son

piston agissait par l'intermédiaire d'une bielle sur la manivelle de l'arbre portant l'hélice.

Cette hélice avait trois ailes et un diamètre de $3^m,40$; sa vitesse de rotation était d'environ 110 tours à la minute.

Le poids du moteur en tout, sans compter les approvisionnements d'eau et de charbon et les accessoires, était de 150 kilogr. : 100 pour la chaudière vide et 50 pour la machine. La force développée était de 3 chevaux-vapeur, ce qui ramenait le poids du cheval à 50 kilogr.

L'aérostat avec ses agrès pesait . . .	770^k
Le châssis de la machine avec les bâches à eau et à charbon	420
La machine et la chaudière approvisionnée.	210
Le guide-rope	80
L'aéronaute.	70
Avec une force ascensionnelle au départ de	10
Il restait un poids disponible de . .	240
	$1,800^k$

qui fut affecté au charbon et à l'eau d'alimentation.

Ce charbon et cette eau constituaient en même

temps un lest qui présentait cette particularité intéressante qu'il s'usait par les pertes de fumée et de vapeur, à mesure que la force ascensionnelle diminuait.

C'est avec cette machine que Giffard fit son ascension du 25 septembre 1852.

Il était parti seul; il faisait un vent assez violent contre lequel il ne pouvait lutter directement; mais il réussit diverses manœuvres, l'action du gouvernail se faisant parfaitement sentir. Après s'être maintenu quelque temps à une hauteur de 1,500 mètres, le ballon atterrit heureusement.

Cette expérience fut renouvelée en 1855 avec un ballon de 3,200 mètres cubes. Giffard était cette fois accompagné de M. Yon, aéronaute bien connu. Il réussit encore à obtenir la déviation latérale et à faire pivoter le ballon dans la direction choisie, à l'aide du gouvernail. La vitesse obtenue relativement à l'air fut de 2^{m},5 à 5 mètres par seconde.

Le dirigeable était désormais créé; sa forme était arrêtée, et il était démontré qu'on pouvait embarquer sans danger, dans la nacelle d'un ballon, une chaudière à vapeur et une machine dont la puissance était beaucoup plus grande que celle d'un équipage qu'aurait pu emporter le même ballon.



Un autre ingénieur de grand mérite, Dupuy de Lôme, construisit plus tard (1872) un ballon dirigeable qui aurait pu donner des résultats supérieurs à ceux qu'obtint Giffard.

Ce ballon avait une longueur de 36 mètres et une largeur de 15 mètres au fort. Il cubait 3,500 mètres; il était donc plus volumineux que le dernier de Giffard et, comme à l'encontre de celui-ci, il était gonflé à l'hydrogène, il avait une force ascensionnelle bien supérieure, qui lui eût permis d'emporter un moteur plus puissant.

Dans une de ses ascensions, le ballon de Giffard prit, au moment de l'atterrissage, une inclinaison si grande que l'aérostat s'échappa du filet sans qu'il en résultât heureusement d'autre accident. Aussi Dupuy de Lôme eut-il soin d'envelopper complètement son ballon dans le filet, en y comprenant les extrémités. On remarquera qu'il était moins allongé que celui de Giffard; il en résultait que pour un même cube la surface était moindre, par conséquent la construction plus économique et le poids un peu inférieur; la stabilité du système pouvait aussi se trouver ainsi heureusement modifiée, et la résistance au déplacement dans l'air ne se trouvait pas forcément augmentée. Cette

résistance dépend en effet autant de la surface que de la section maîtresse de la carène. Les proportions à donner à un ballon fusiforme ne sauraient guère être déterminées autrement que par l'expérience, de même que les formes des navires, mais comme l'avenir de ces machines aériennes est au moins douteux, la question ne présente pas un très grand intérêt.

Une autre cause qui augmente sérieusement la résistance à la propulsion d'un ballon fusiforme réside dans l'affaissement de l'extrémité antérieure sous la poussée de l'air, et dans les plis qui se produisent dans l'étoffe d'un tel ballon incomplètement gonflé. Pour parer à cet inconvénient, Dupuy de Lôme munit son ballon d'un ballonnet consistant en une poche placée à la partie antérieure inférieure. L'appendice du ballon était fermé; la dilatation du gaz intérieur, quand l'enveloppe était bien tendue, avait d'abord pour effet de comprimer le ballonnet et d'en chasser l'air à l'extérieur; des soupapes à ressorts convenablement pesés et s'ouvrant de l'intérieur à l'extérieur permettaient du reste au gaz de s'échapper en cas de dilatation anormale. Quand il y avait condensation, on maintenait la rigidité de l'enveloppe en refou-

lant de l'air dans le ballonnet, au moyen d'une pompe spéciale.

La suppression de l'appendice inférieur et l'adjonction du ballonnet formant matelas protecteur à la partie inférieure du ballon diminuaient encore les chances d'incendie que pouvait présenter l'embarquement d'un foyer.

Par une faute de logique qu'on ne comprend pas, Dupuy de Lôme perdit volontairement l'avantage d'une force ascensionnelle disponible considérable. Il supprima tout moteur et employa à la place une équipe de huit hommes devant actionner une hélice de 6 mètres de diamètre. La force ainsi employée pesait relativement dix fois plus que celle du ballon de Giffard.

Il resta acquis qu'un ballon ayant un propulseur actionné à bras, pouvait se déplacer dans l'air avec une certaine vitesse, mais cette démonstration était complètement inutile. Les manœuvres que Dupuy de Lôme put exécuter avec son appareil n'apprirent rien non plus. Quant à la vitesse qu'il obtint, elle resta inférieure à celle des expériences de Giffard, et si elle fut de $2^{m},5$ par seconde, ce ne fut que pendant quelques instants.

Les frères Tissandier ne commirent point la même

faute que Dupuy de Lôme, et dans leur ballon ils embarquèrent une machine pour actionner l'hélice. C'était une dynamo Siemens, recevant le courant d'une pile au bichromate de potasse. Ils avaient ainsi réalisé en grand une disposition dont on avait vu un modèle réduit fonctionner à l'Exposition de 1878.

Ils firent leur première ascension le 8 octobre 1883; le vent était trop fort pour qu'ils pussent le remonter, mais il leur fut possible d'obtenir des déviations latérales et d'effectuer des girations. Dans une seconde ascension faite le 26 septembre 1884, ils parvinrent à donner à leur ballon une direction presque contraire à celle du vent. Ce ballon avait une longueur de 28 mètres et un diamètre de $9^{m},20$; il cubait seulement 1,060 mètres et il était gonflé à l'hydrogène. La machine avait une force de 100 kilogrammètres; les 24 éléments de la pile, accouplés en tension pouvaient débiter 280 kilogrammètres et assurer un fonctionnement de deux heures et demie. L'hélice, dont le diamètre était de $2^{m},80$, tournant à 80 tours par minute, donnait une vitesse de 3 mètres par seconde. En couplant les éléments de la pile par groupes, et en ne se servant que de 6, 12 ou 18 éléments, on pouvait faire varier la vitesse.

Dans les trois ballons qui viennent d'être décrits, l'hélice était placée à l'arrière de la nacelle. Cette disposition faisait que la force d'impulsion n'était point directement opposée à la résistance, celle-ci se faisant sensiblement suivant l'axe du ballon. Il se produisait ainsi un couple de renversement sur l'arrière, d'autant plus fort que la puissance du moteur était plus grande, et que la nacelle était plus éloignée du ballon. Ce phénomène ne paraît point à priori être nuisible à la marche du ballon. Il parut cependant au capitaine Renard un inconvénient si sérieux, qu'il chercha tous les moyens de le supprimer.

Il conçut d'abord le projet d'un aérostat tubulaire formé de deux enveloppes concentriques entre lesquelles on logeait le gaz qui devait procurer la force ascensionnelle. La nacelle aurait été placée à l'intérieur du cylindre interne, et l'hélice, portée par la nacelle, se serait trouvée exactement dans le plan de résistance. On se rend facilement compte des obstacles qui empêchèrent la réalisation pratique d'une telle disposition, et des inconvénients qu'elle eût présentés.

Poursuivant son idée, le capitaine Renard imagina ensuite un système de deux ballons accouplés

parallèlement par un bâti léger supportant la nacelle et l'hélice. Il ne put non plus réaliser ce projet.

Force lui fut de s'en tenir à ce qu'avaient fait ses prédécesseurs. Son ballon portait à la partie inférieure, à une distance aussi réduite que possible, une nacelle longue de 33 mètres, large de 1^m,40 et haute de 2 mètres en son milieu. L'hélice était placée à l'avant; le couple de renversement existait toujours, on le combattait au moyen d'un poids mobile qu'on portait sur l'avant pendant la marche.

Après des expériences faites sur un modèle en bois, remorqué sur l'eau d'un étang, le capitaine Renard adopta pour son ballon une forme ovoïde, le grand diamètre sur l'avant de la section milieu; le long fuseau de l'arrière assurait une bonne stabilité de route.

Le ballon, gonflé au gaz hydrogène, cubait 1,864 mètres; il avait une longueur de 50^m,42; son plus grand diamètre était de 8^m,40. Il était muni d'un tuyau de dégagement pour le gaz, et un ventilateur permettait de refouler de l'air dans un ballonnet compensateur, disposé comme celui de Dupuy de Lôme.

A l'arrière de la nacelle, deux palettes servaient de gouvernail horizontal. Le gouvernail de direction était constitué par un châssis rectangulaire en bois, sur lequel on avait tendu de chaque côté deux faces en soie, disposées de façon que le gouvernail présentât l'aspect d'un octaèdre de très faible hauteur. L'hélice avait deux ailes et son diamètre était de 7 mètres.

Le moteur était une dynamo spéciale, recevant son courant d'une pile chloro-chromique, de l'invention du capitaine Renard, pouvant fournir une énergie de 20 chevaux-heure, soit une marche de 2 heures à 10 chevaux de puissance. Ce moteur, comme celui des frères Tissandier, offrait l'avantage d'une conduite facile, d'un poids constant pendant l'ascension, et de la suppression d'un foyer dangereux à une très faible distance du ballon. La pile avait l'inconvénient de coûter fort cher et d'être d'un montage et d'un entretien difficiles; une fois montée, elle était complètement usée au bout de 8 heures, même sans avoir servi.

Voici, du reste, le tableau des données exactes du premier ballon militaire dirigeable, et les résultats constatés dans l'ascension du 9 août 1884.



Ballon et ballonnet.	369^{k}
Chemise et filet	127
Nacelle complète.	452
Gouvernail	46
Hélice	41
Machine	98
Bâti et engrenages	47
Arbre moteur	30 ,500
Pile, appareils, instruments divers .	435^{k},500
Aéronautes	140
Lest	214
Poids total	2,000 kilogr.

La durée de l'expérience avait été de	23 minutes.
Le chemin parcouru, mesuré sur le sol.	7^{km},600
La vitesse moyenne par seconde . . .	5^{m},20
Le nombre d'éléments de pile employés.	32
La force électrique dépensée aux bornes.	250 kilogrm.
Le rendement de la machine.	0,70
Le rendement de l'hélice	0,70
Le rendement total, environ.	1/2
Le travail de traction, par conséquent de	125 kilogrm.
La résistance approchée du ballon de	22^{km},800

Il se produisit dans cette ascension faite au Chalais-Meudon, par temps calme, un tangage de 2° ou 3°; avec 11° de barre, on fit un demi-cercle de 300 mètres de diamètre.

C'était la première fois qu'un ballon était revenu

à son point de départ, après avoir parcouru une route déterminée. On en conclut trop vite que le problème de la direction des ballons était enfin résolu. On oublia de remarquer que, si Giffard avait eu à sa disposition un atelier complet dans lequel il eût pu conserver son ballon gonflé, prêt à profiter des circonstances les plus favorables, il eût obtenu les mêmes résultats trente ans plus tôt.

Une seconde ascension fut faite le 12 septembre 1884, par le ballon militaire, en présence du général Campenon, alors ministre de la guerre. Toutes les piles, mises en tension à un moment donné, permirent d'atteindre une vitesse de 20 kilomètres à l'heure ($6^{m},5$ par seconde); mais la machine s'étant échauffée, cette vitesse ne put être maintenue.

Depuis, le commandant Renard aurait construit un autre ballon de plus fort tonnage, et pourvu d'un moteur à gaz; il aurait obtenu une vitesse de 40 kilomètres à l'heure. Le secret dont sont entourés les ateliers militaires de Chalais, ne permet pas d'en savoir davantage. On s'y livrerait aussi à des expériences suivies sur l'aviation.

Dans la *Guerre en ballon*, le capitaine Driant donne la description d'un ballon monstre : *la Pa-*

trie, qui résume les derniers progrès du dirigeable. L'hélice principale serait dans l'axe même du ballon, son arbre étant porté par des coussinets sur un châssis en acier, constituant la membrure du ballon. Le moteur, placé dans la nacelle, serait une machine à gaz hydrogène actionnant une dynamo génératrice qui fournirait le courant à une réceptrice placée dans le ballon, dans une chambre métallique étanche supportée par le châssis en acier, et qui actionnerait directement la grande hélice placée à l'avant du ballon. Une hélice auxiliaire plus petite serait placée dans la nacelle sous laquelle se trouverait de plus une hélice-lest. Ce ballon imaginaire n'est sans doute pas impossible à réaliser, mais il y aurait des réserves à formuler sur les données numériques employées par l'auteur.

A l'étranger, particulièrement en Russie et en Allemagne, on a construit également des ballons militaires : les résultats obtenus ont été à peu près les mêmes qu'en France.

Il est utile de faire ressortir ici les grandes difficultés que l'on aura à vaincre pour réaliser un dirigeable pratique, c'est-à-dire un ballon capable de lutter pendant un temps assez long, par exemple 24 heures, contre un vent de force moyenne,

11 mètres par seconde. On a déjà vu combien il était difficile de ménager la force ascensionnelle d'un aérostat. La résistance à la propulsion ne semble pas devoir être jamais beaucoup plus réduite qu'elle ne l'était dans le ballon *la France* du capitaine Renard. Il reste à rechercher le moteur pouvant produire, sous le moindre poids, le travail nécessaire pour vaincre la résistance.

Pour la *France,* le travail à fournir pour obtenir une certaine vitesse était donné par la formule empirique

$$T = 2.3\, V^3$$

le coefficient 2.3 ayant été fourni par l'expérience, et dépendant de la forme du ballon. Pour une vitesse à réaliser de 6 mètres par seconde, cette formule donne pour le travail 495 kilogrammètres, soit 6,6 chevaux. Avec un rendement de 0,75 pour la machine électrique, il fallait donc une source d'énergie de 8,8 chevaux. Le capitaine Renard tint à disposer d'une force de 10 chevaux, et à s'assurer une marche de 2 heures. Il lui fal'ait donc une énergie de 20 chevaux-heure. Comme il disposait, pour sa pile, d'un poids de 480 kilogr., celle-ci devait peser 24 kilogr. par cheval-heure.

Le capitaine Renard avait d'abord trouvé une pile au brome qui ne pesait que 9 kilogr. par cheval-heure, mais il dut y renoncer à cause des dangers que son emploi présentait. Il inventa ensuite une pile chloro-chromique remplissant les conditions données plus haut.

Il est intéressant de constater, en passant, que les études concernant cette pile n'ont pas coûté moins de cent mille francs.

Il faut rappeler aussi que le capitaine Renard avait eu d'abord pour associé le lieutenant Delahaye et qu'il eut ensuite un collaborateur émérite dans le capitaine Krebs.

La formule

$$T = KV^3$$

montre comment le travail à fournir augmente rapidement avec la vitesse cherchée. Pour un ballon donné, il y a donc intérêt à réduire autant que possible le poids de l'unité d'énergie, afin de disposer de la plus grande somme d'énergie possible sous un poids donné, généralement très limité. Comme on retrouvera la même nécessité dans l'aviation, la question sera plus longuement développée dans un chapitre spécial, réservé aux moteurs des machines aériennes.



Si l'on augmente le tonnage du ballon, la résistance pour la même vitesse croît à peu près comme le carré des dimensions, mais la force ascensionnelle augmente au moins comme le cube de ces dimensions. Le poids disponible pour le moteur est augmenté dans des proportions encore plus grandes. Il en résulte qu'au point de vue de la vitesse, il y a intérêt à employer les gros tonnages. C'est ce qui se passe pour les bateaux. Cet avantage ressort du reste du tableau comparatif suivant, dû aux travaux de Gaston Tissandier.

Aérostat allongé de	953^{m3}	3,069
Longueur de pointe en pointe.	27^{m}	40
Surface	523^{mq}	1,118
Poids total du matériel fixe .	500^{k}	1,100
Force ascensionnelle totale (hydrogène)	1,143	3,682
Force ascensionnelle disponible	643	2,582
3 voyageurs	210	210
Lest pour faire route. . . .	80	240
Reste pour le poids du moteur.	353	2,132
Force permise pour un fonctionnement de 3 heures. .	1^{ch},33	10
Vitesse propre par seconde .	4^{m}	7^{m}
— heure . .	15^{km}	25^{km}

On peut évidemment construire des ballons de

très forts tonnages ; s'ils peuvent donner une grande vitesse, ils présenteront une très forte résistance à l'air, et il faudra les construire très solidement. La chose est faisable, mais on voit qu'on perd déjà, par une augmentation du poids de l'enveloppe, une partie du bénéfice d'une plus grande force ascensionnelle. Et puis il y a lieu de tenir compte du prix de la construction qui deviendrait bientôt considérable.

En résumé, on voit que, même avec les ballons fusiformes, et malgré de sérieux résultats déjà obtenus, on ne peut encore songer à lutter directement contre les vents généralement régnants, et surtout que l'on ne peut, sans de très grands frais, entreprendre un voyage d'une certaine durée. Ce n'est pas dire que les ballons dirigeables seront inutiles ; ils peuvent être, au contraire, précieux à une armée en campagne comme engins d'exploration ; mais leur supériorité sur les ballons captifs n'est point encore tellement marquée que l'on ait pu les substituer à ceux-ci dans ce service.



IV

Les ballons planeurs

Dupuis-Delcourt, dont il a déjà été question, et Régnier avaient conçu le projet d'une machine volante qui devait, en quelque sorte, imiter l'oiseau planant dans l'air, avec cette différence essentielle qu'elle n'était pas plus lourde que l'air.

Leur appareil était un aérostat de forme allongée, supportant une nacelle de laquelle on manœuvrait une hélice, montée sur un arbre horizontal à manivelle, qui devait faire progresser le système. La partie originale du projet consistait en un châssis horizontal recouvert d'une toile résistante et bien tendue. Le ballon étant porté à une certaine hauteur par sa force ascensionnelle, et l'hélice étant actionnée, si l'aéronaute veut monter, il baisse la partie arrière du châssis, et l'air qui glisse en dessous donne une com-

posante de soulèvement; s'il veut descendre, il abaisse au contraire la partie avant du châssis. Dans la pensée des auteurs de ce plan, cette disposition devait rendre supérieure l'utilisation de l'hélice; ils pensaient obtenir quelque effet se rapprochant du vol à la voile qu'on avait déjà observé chez les oiseaux, mais qu'on n'a pas encore expliqué d'une façon satisfaisante. Cependant, ce vol n'a été constaté que chez des oiseaux ayant une certaine masse, et dans la machine de Dupuis-Delcourt et de Régnier, plus légère que l'air, le châssis employé n'était autre chose qu'un gouvernail de profondeur, pouvant tout au plus faire varier un peu le niveau d'équilibre; le secours qu'il apportait à la propulsion était absolument nul. Le résultat des essais fut d'ailleurs négatif.

L'idée méritait cependant d'être signalée, car on verra plus loin que la machine de Stringfellow n'est autre chose que celle qui vient d'être décrite, débarrassée de son ballon, et la machine volante que M. H. Maxim expérimente actuellement en Angleterre n'est elle-même qu'une modification de l'appareil de Stringfellow.

En 1850, M. Petin donna le plan d'un vaisseau aérien, dont il fut beaucoup parlé. Il proposa de



réunir en un système quatre aérostats à gaz hydrogène reliés à la même nacelle qui formait le pont de ce vaisseau. Deux vastes châssis garnis de toiles étaient fixés horizontalement et invariablement à la machine. On pouvait carguer à volonté ces toiles sur une partie de leur surface. Quand le vaisseau, par la variation de la force ascensionnelle, montait ou descendait, les toiles, qui présentaient une grande surface à la résistance de l'air, se trouvaient déprimées ou soulevées uniformément. Mais, si l'on carguait une partie de ces toiles à une extrémité, l'air passait librement à travers la partie du châssis ainsi dégagée, et, comme il continuait d'agir sur la partie garnie de toiles, à l'autre extrémité, il y avait une rupture d'équilibre qui faisait incliner le vaisseau, et le forçait à monter ou à descendre obliquement suivant un plan incliné.

Ce projet est assez bizarre, mais il ne supporte pas l'examen. Les montées et descentes successives auxquelles il oblige auraient vite fait d'épuiser la force ascensionnelle et le lest. De plus, s'il y avait une certaine force de propulsion suivant un plan incliné, elle devait être inférieure au poids de lest jeté, et la résistance que le groupe

de ballons offrait dans tous les sens devait rendre tout à fait insensible la vitesse qu'une force aussi faible pouvait imprimer à un pareil système. Petin sentit la valeur de l'objection, il y répondit vaguement, en disant qu'il emploierait quelque (?) force mécanique actionnant une hélice-lest ; mais il ne proposa jamais cette force mécanique : du reste la valeur de son invention ne s'en fût pas trouvée beaucoup augmentée.

Le capitaine Driant prête à l'aéronaute Capazza le projet d'un ballon planeur qui, bien que conçu plus rationnellement que les précédents, ne paraît pas plus praticable.

Ce ballon est à gaz hydrogène, et son enveloppe se présente sous la forme de deux cônes indéformables se raccordant par leurs bases dans un plan horizontal. Ces bases, au lieu d'être reliées l'une à l'autre d'une façon invariable, sont fixées sur un cylindre souple en toile, de faible hauteur, et formant soufflet, de sorte que l'écartement des cônes est variable. On peut ainsi faire varier le volume du ballon, par suite sa force ascensionnelle, sans changer beaucoup sa forme, car un faible écartement des cônes fournit une grande augmentation de volume. L'auteur n'a pas indiqué le moyen qui

était employé pour obtenir cet écartement des cônes, et il y a là une très grosse difficulté, sinon une impossibilité matérielle absolue. En tous cas, il faudrait une puissance mécanique sérieuse qui n'irait pas sans un poids assez considérable, partant sans un fort tonnage. Et le moyen de maintenir la rigidité de deux cônes aussi vastes et qui devront être légers?

Quoi qu'il en soit, voici quel serait le mode de progression de ce ballon imaginaire. Sur la nacelle, fixée d'une façon invariable au cône inférieur, une tringle horizontale, ou légèrement recourbée, porte un poids mobile qu'on peut faire glisser d'un côté à l'autre de la nacelle. Si le poids est, par exemple, sur l'avant, le ballon est incliné de ce côté; si on rapproche alors les deux cônes, la force ascensionnelle diminue, et le ballon tombe obliquement suivant un plan incliné déterminé par la résistance de l'air sur l'ensemble de l'appareil, le poids mobile en avant. Si les deux cônes sont aplatis de façon que le système se présente sous la forme d'une lentille à bords minces, on doit obtenir ainsi une vitesse assez grande pour une variation relativement faible de la force ascensionnelle. Si, étant ainsi en chute oblique,



on porte le poids mobile sur l'arrière, l'inclinaison du ballon change, la vitesse acquise fait que le système s'élève obliquement, par une ressource (de *resurgere*) suivant un plan incliné, et dans le même plan vertical dans lequel s'est faite la descente, si l'on n'a pas employé de gouvernail de direction.

En écartant les cônes, ce mouvement de montée oblique est entretenu jusqu'à ce que l'on veuille effectuer une nouvelle descente, en reportant le poids sur l'avant et en rapprochant les cônes.

Au lieu de cônes mobiles, on pourrait se contenter plus simplement d'un ballon lenticulaire de forme invariable, et de remplacer la variation de la force ascensionnelle par l'action d'une hélice-lest : mais, même avec cette modification, qui permettrait au moins de pouvoir réaliser l'appareil, on n'arriverait jamais à un résultat pratique.

. . . .

Tous les appareils qui ont été imaginés pour la direction des ballons n'ont pu être étudiés dans ce court aperçu ; beaucoup sont tombés dans l'oubli, sur certains autres l'auteur n'a pu trouver de renseignements. Du reste, il n'a pas tenté de faire un



historique complet de l'aérostation, mais son but était simplement d'exposer les types principaux et différents au point de vue de la direction, et de faire ressortir combien limitées sont les espérances que l'on doit fonder sur l'emploi des ballons comme instruments de navigation aérienne.

DEUXIÈME PARTIE

L'AVIATION

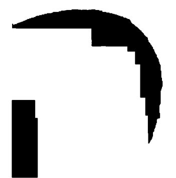
On sait que les premières tentatives de locomotion dans l'air remontent à la plus haute antiquité; s'inspirant de la nature, l'homme fit d'abord des essais d'aviation.

La découverte des ballons changea la direction des efforts que poursuivaient les inventeurs; mais, quand on eut perdu l'espoir qu'on avait conçu d'abord de diriger facilement ces machines, on rentra dans la voie qu'on avait un instant abandonnée, et les inventions, proposées depuis le commencement du siècle, ne se comptent plus. Aujourd'hui, le problème est encore à l'étude. A côté de projets plus ou moins fantaisistes, plusieurs machines sont actuellement expérimentées



par des inventeurs sérieux, et le jour ne paraît pas éloigné où tous ces efforts aboutiront enfin.

L'exposé des nombreuses solutions proposées pour cet intéressant problème n'est point facile. L'exagération et la croyance au surnaturel, que l'on trouve dans les auteurs anciens, font que l'on ne peut accorder grand crédit à leurs récits sur les expériences faites dans l'antiquité. Les documents que l'on a sur des inventions beaucoup plus récentes ne sont guère plus précis, car ce sont rarement des descriptions ou rapports faits par les inventeurs eux-mêmes, mais le plus souvent des chroniques fantaisistes et trop enthousiastes de publicistes mal informés. Il est même difficile d'être exactement renseigné sur les expériences en cours, car les chercheurs comptent tirer un si grand profit de la solution d'un problème aussi important, qu'ils gardent presque toujours soigneusement le secret de leurs découvertes. Et, s'ils font quelquefois part au public de quelque résultat obtenu, celui-ci est toujours exagéré, dans l'empressement qu'on a de posséder immédiatement une machine volante pratique, de laquelle on exige d'ailleurs beaucoup trop, avant même de l'avoir réalisée.



Dans les premières tentatives, on chercha naturellement à imiter le vol des oiseaux ; le vol plané paraissant le plus simple, et sa réalisation ne semblant point exiger la construction d'appareils mécaniques compliqués, il fut plus particulièrement le but poursuivi après les premiers échecs. D'ailleurs, dans tous ces essais on ne se rendait aucun compte de la nature des réactions qui étaient en jeu, l'air étant considéré comme un élément impondérable. Depuis, on a acquis des notions certaines sur les propriétés des gaz, et l'on sait que les oiseaux, dans leur vol, trouvent un appui matériel sur l'air résistant. On a cherché à appliquer les lois de la mécanique à ce mouvement particulier, mais la dynamique des fluides n'est point encore tellement connue qu'on ait pu, par une simple synthèse, reproduire un oiseau artificiel ; les petits appareils qualifiés tels, ne sont que des jouets qui, après une impulsion initiale, ne peuvent faire autre chose que se maintenir en l'air pendant quelques secondes.

Il convient de procéder avec méthode dans la recherche de la solution d'un problème, en réalité très compliqué et très difficile, comme l'est celui de l'aviation. Une observation attentive du

vol des oiseaux, une interprétation réfléchie des faits observés, contrôlées par des procédés rigoureux d'analyse et de synthèse, ont beaucoup élucidé la question. On en est surtout redevable aux beaux travaux du docteur Marey. On doit aussi à l'ingénieur Wellner des données précises sur les résistances des surfaces en mouvement dans l'air. Le professeur Langley, de Philadelphie, vient de donner une théorie du vol à la voile, résultant de patientes investigations sur la nature du vent au point de vue mécanique. Sa théorie est contestable ainsi que les indications qu'il donne pour la construction d'un aérodrome ; mais tout ceci montre que l'on a abandonné les procédés empiriques pour des méthodes scientifiques toujours fécondes en résultats.

L'auteur se propose ici, après un historique succinct de l'aviation, d'exposer les résultats obtenus par les savants observateurs dont il vient d'être question; il prendra la liberté d'ajouter à cet exposé quelques remarques personnelles, et, avec l'aide de quelques chiffres, il espère pouvoir démontrer qu'il est actuellement possible de faire une machine volante pratique, c'est-à-dire capable de transporter avec sécurité, dans de bonnes con-

ditions d'économie et de vitesse, plusieurs voyageurs d'un point à un autre déterminé à l'avance, même très éloigné du premier.

Le lecteur dira peut-être que le moindre volateur eût mieux fait son affaire qu'une formule sujette à controverse. Mais l'auteur l'a déjà averti que son dessein n'était point de lui présenter ici une invention, mais simplement de l'entretenir d'une question ignorée du plus grand nombre, et qui sera l'actualité de demain. Il a cru faire ainsi œuvre utile, et, s'il s'est trompé, ceux qui l'auront lu voudront bien lui pardonner de les avoir ennuyés par cet essai sans prétentions.

I

Historique

Tout le monde connaît la légende de Dédale et d'Icare; dépouillée du merveilleux que l'imagination des anciens y a attaché, on peut voir là une tentative de vol, à moins que les fameuses ailes dont il est question ne représentent la première voile d'un bateau.

La fable d'Abaris, voyageant dans les airs sur une flèche, est encore plus imaginaire.

Il n'en est point de même de la colombe d'Archytas, de Tarente. D'après les témoignages de plusieurs célèbres auteurs contemporains, ce savant géomètre aurait exécuté une figure en bois, en forme de colombe, volant par un artifice mécanique, et recevant son mouvement d'un certain air renfermé. Cette invention serait remarquable pour l'époque à laquelle elle a été faite (IVe s. av. J.-C.); l'emploi de l'air comprimé est à signaler.

Dans le premier siècle de notre ère, Simon le Magicien se serait élevé dans les airs et n'aurait été arrêté dans son vol que par la force de volonté de saint Pierre. Il n'est point question d'ailes, et il ne faut pas voir là une expérience d'aviation; sans recourir au miracle, on peut rapprocher le fait, de ce que des témoins dignes de foi rapportent des fakirs de l'Inde, et de ce que l'auteur lui-même leur a vu faire. Mais il est inutile de s'étendre sur un sujet, d'ailleurs controversé, qui sort du cadre de cet ouvrage.

Au xie siècle, le moine Olivier de Malmesbury, s'étant muni de deux ailes, se précipita du haut d'une tour, et, après avoir obliquement parcouru une distance de cent vingt mètres, il tomba et se cassa les jambes. Il survécut avec l'illusion (!) que cet accident ne lui serait pas arrivé s'il avait muni son appareil d'une queue. Son illusion n'était sans doute point si grande, et si l'Allemand Lilienthal, dont il sera parlé plus loin, ne s'est point cassé les jambes, c'est probablement parce qu'il avait à son planeur une queue qui lui permit de garder son équilibre et d'atterrir doucement.

Cent ans plus tard, un Sarrazin tenta une expérience analogue à Constantinople, devant l'empe-



Le *Journal des Savants* rapporte qu'en 1768, un serrurier de Sablé, Besnier, fabriqua deux paires d'ailes formées de châssis de taffetas, articulées aux extrémités de deux bâtons fixés sur les épaules et qu'on actionnait avec les mains et avec des ficelles attachées aux pieds. Il paraît qu'un baladin se serait servi assez heureusement de ces ailes à la foire de Guibray, mais un certain Bernoin, de Francfort, qui voulut renouveler la même expérience, se cassa le cou.

Borelli s'occupa beaucoup de l'étude du vol des oiseaux, et il construisit un oiseau mécanique dont les ailes articulées étaient probablement mues par un ressort, mais qui ne put jamais s'enlever. Borelli calcula la force qu'il eût fallu fournir à son oiseau pour qu'il volât, et il arriva à cette conclusion qu'il lui faudrait une force égale à 10,000 fois son poids.

Le mathématicien Lalande s'occupa aussi du même problème, et il démontra mathématiquement dans le *Journal des Savants* (1782) que l'homme aurait besoin, pour voler, d'ailes de 180 pieds de longueur qu'il ne pourrait évidemment pas faire mouvoir.

Si les chiffres donnés par Borelli et Lalande



étaient exacts, il faudrait renoncer à jamais construire un aviateur; on verra qu'ils sont heureusement fort exagérés.

Les tentatives de Blanchard, abandonnées après la découverte des ballons, ont été mentionnées déjà.

Deghen reprit, au commencement de ce siècle, l'appareil de Blanchard, consistant en deux sortes de plans inclinés actionnés par les pieds et les mains. Au lieu de se placer dans la nacelle d'un ballon pour faire ses expériences, Deghen se suspendit au-dessous; la différence n'était pas grande, les résultats furent aussi peu concluants.

C'est en 1864 que la *Presse* publia le fameux manifeste de Nadar, commençant par ces mots : « Ce qui a tué, depuis quatre-vingts ans tout à l'heure qu'on la cherche, la direction des ballons, c'est les ballons. » C'était l'affirmation des principes défendus par les partisans du « plus lourd que l'air » qui reprenaient, en faisant bon marché de l'invention des Montgolfier, la série un instant interrompue des essais sur l'aviation. En tête de ces partisans convaincus venaient le romancier G. de La Landelle et l'académicien Babinet, soutenus par la fortune de Ponton d'Amécourt. Ils

divisaient tous les appareils que l'on pouvait construire pour voler en trois grandes classes : celle des orthoptères, celle des hélicoptères ou gyroptères, et celle des aéroplanes.

Les ORTHOPTÈRES sont les appareils qui tendent le plus directement à l'imitation du vol ramé des oiseaux. Leur principe consiste dans l'emploi de surfaces en mouvement, présentant une résistance maxima pendant la descente, minima pendant la montée, par exemple, des palettes s'abaissant horizontalement, en prenant appui sur l'air, et se relevant verticalement, suivant leur arête. Une complication relative dans le mouvement à obtenir et certaines difficultés de construction font que peu d'orthoptères ont été construits.

Les GYROPTÈRES OU HÉLICOPTÈRES ont comme moyen d'action l'hélice, la sainte hélice, si chaleureusement défendue par Nadar, mais qui n'a pas répondu aux espérances que ses partisans fondaient sur son emploi.

Les AÉROPLANES sont des appareils dans lesquels la sustentation est obtenue par l'action de l'air sur des surfaces planes, rigides et inclinées d'un certain angle, mais sans mouvement. Un moteur actionnant une hélice, des palettes ou tout autre





propulseur, assure le déplacement dans le sens horizontal, lequel produit en même temps le courant d'air dont l'action sur les surfaces planes soutient l'appareil. La rigidité des plans qui n'ont pas besoin d'articulations, et qu'on peut construire très solidement, avec une grande légèreté, fait que ces appareils ont sur les orthoptères de sérieux avantages. Plusieurs types en ont été réalisés, et quelques-uns paraissent avoir donné des résultats.

Un aéroplane, dans lequel on supprime le moteur et le propulseur, est un PLANEUR. D'aucuns prétendent s'en servir pour voler dans certaines circonstances de vent particulières qui ne seraient point rares, mais on ne doit voir dans les planeurs que des modérateurs de chute incapables d'assurer un vol soutenu et prolongé, dans les circonstances ordinaires.

Le premier hélicoptère qui fut réalisé paraît être l'hélice de Cayley, qui n'est qu'un jouet d'enfant très facile à construire. Un bouchon est fixé à l'extrémité d'un arbre arrondi, un autre bouchon est attaché sur le milieu d'une baleine, avec un petit trou dans lequel pivote l'extrémité libre de l'arbre arrondi; deux cordes égales relient les



extrémités de la baleine à l'arbre arrondi ; dans chaque bouchon sont plantées quatre plumes d'ailes d'oiseaux, légérement inclinées, comme dans un moulin à vent, mais en sens contraire pour chaque bouchon. En tournant les deux bouchons en sens contraire, les deux cordes s'enroulent autour de l'arbre, en faisant fléchir la baleine; si l'on abandonne alors l'appareil, les deux cordes se déroulent sous l'action de la baleine faisant ressort, les deux bouchons tournent en sens contraire du premier mouvement, et l'on voit la petite machine s'élever rapidement.

En 1842, M. Philipps construisit un appareil de ce genre, en métal, pesant deux livres. Il consistait en un générateur de vapeur, portant quatre palettes inclinées de 20° et portées par des bras recourbés, par les extrémités desquels la vapeur s'échappait en les faisant tourner, comme l'eau dans un tourniquet hydraulique. Cet appareil s'éleva et parcourut une certaine distance avant de tomber.

Le navire aérien projeté par Nadar comportait un bâti sur lequel étaient placés les voyageurs et les machines motrices; celles-ci actionnaient plusieurs groupes d'hélices montées en batterie sur

des arbres verticaux, et qui, par leur action sur l'air, soulevaient l'appareil ; une hélice supplémentaire à arbre horizontal servait de propulseur. En dehors de quelques erreurs de principe, la difficulté de trouver un moteur léger assez puissant empêcha la réalisation de ce projet. Tout au plus, des modèles très réduits, construits par Ponton d'Amécourt, parvinrent-ils à se soutenir pendant quelques secondes.

Dans les tentatives signalées plus haut, on a déjà reconnu des appareils planeurs de différentes sortes, qu'on peut appeler des parachutes dirigeables, bien qu'ils se fussent montrés peu faciles à diriger.

En 1843, Henson imagina un aéroplane, consistant en un chariot contenant la machine et son combustible.à côté des passagers; au chariot était fixé un grand cadre en bambou tendu de taffetas et de soie huilée. Ce cadre s'étendait de chaque côté comme les ailes éployées d'un oiseau, et il était immobile. A l'arrière se trouvait un gouvernail; des rames devaient agir sur l'air à la façon d'un moulin à vent. La quantité de taffetas tendue pour supporter la machine était calculée à raison de un pied carré par demi-livre à enlever. Le

cadre avait son bord antérieur faiblement relevé, ce qui avait pour effet d'en présenter la surface inférieure à l'air, sur lequel il glissait, et qui, par sa résistance, agissait sur lui, comme le vent sur les ailes d'un moulin, et empêchait ainsi la descente de la machine et de sa charge. La sustentation du tout dépendait donc de la vitesse avec laquelle l'appareil voyageait en l'air, et de l'angle d'inclinaison du cadre. L'aéroplane, tout prêt à voler, était lancé sur un plan incliné; en descendant, il atteignait une vitesse suffisante pour quitter ce plan et se soutenir sur l'air; les palettes mises en mouvement entretenaient ensuite la propulsion et par conséquent la sustentation.

Wenham proposa de remplacer le cadre d'Henson par plusieurs plans superposés de dimensions moindres : ces plans seraient convenablement inclinés, le propulseur serait une hélice à axe horizontal.

Stringfellow construisit un appareil de ce genre en 1868. Les plans superposés avaient une superficie totale de 28 pieds carrés, non compris la queue; le poids total était de moins de 12 livres, et le moteur avait une puissance de $\frac{1}{3}$ de cheval-vapeur. Le modèle était poussé le long d'un fil de

fer, mais, s'il parvint à le quitter quelquefois, il ne put jamais se soutenir et progresser seul.

En 1861, Du Temple avait fait connaître les résultats des recherches qu'il poursuivait depuis plusieurs années sur l'aviation, et qui l'avait conduit à l'invention de sa remarquable chaudière. Son volateur était une sorte de canot léger qui portait à son avant deux ailes battantes mues par une machine à vapeur. Le canot prenait vent en descendant un plan incliné, et les ailes devaient continuer à le maintenir en l'air. Dans une expérience faite à Brest, l'appareil lancé du cours d'Ajot tomba obliquement près de la jetée du port de commerce.

On a fait une foule d'autres modèles d'aéroplanes, hélicoptères ou gyroptères; mais ce sont presque tous des jouets d'enfants impossibles à réaliser en grand. Dans le plus grand nombre, la force motrice est obtenue par la torsion d'une lanière en caoutchouc, qui a sur le ressort en acier l'avantage de se détendre moins brusquement et d'entretenir le mouvement pendant plus longtemps. On a ainsi obtenu des appareils fournissant plutôt des sauts de faible étendue qu'un véritable vol d'une certaine durée. Ainsi, l'oiseau mécanique



de M. Hureau de Villeneuve s'est maintenu en l'air pendant 7 secondes seulement, pendant lesquelles il s'est mû avec une vitesse maxima de 9 mètres à la seconde, le parcours horizontal effectué n'atteignant pas 40 mètres. L'oiseau de Tissandier, avec un moteur à poudre, ne donna pas des résultats plus brillants.

M. Georges Wellner, professeur à l'école technique supérieure de Brünn (Autriche), a présenté, au commencement de l'année 1894, aux membres de la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne, les plans d'une machine volante de son invention.

Il se base sur ce fait, que le poids supporté par une surface de sustentation donnée croît rapidement avec la vitesse de l'air qui frappe cette surface, le poids supporté par mètre carré pouvant atteindre 100 kilogr., avec une vitesse de 40 mètres par seconde, normale à cette surface, ce qui n'est point très difficile à réaliser.

La partie essentielle de son appareil est une roue à voiles, tournant autour d'un axe horizontal, et portant un certain nombre de palettes articulées, d'une part, sur des bras invariablement reliés à l'arbre de rotation, d'autre part, sur des

bras semblables reliés à un excentrique tournant autour de cet arbre, et de telle façon que lorsque l'appareil est en marche, la palette supérieure présente son arête antérieure en haut, et la palette inférieure, par un renversement produit par l'excentrique, présente également son arête antérieure en haut. Dans les positions intermédiaires, les palettes n'agissent point, coupant l'air par leurs arêtes ou à peu près. Les palettes sont formées par des cadres en acier avec nervures, sur lesquels on tend une étoffe solide et légère.

Des expériences, faites sur une roue à bras, ont démontré que, avec quatre palettes disposées en croix, la part qui revient à la force ascensionnelle est celle produite par les deux cinquièmes de la surface totale des pales.

La machine volante de Wellner se compose essentiellement d'un navire en forme de cigare, contenant le moteur et les passagers, et d'un certain nombre de roues à voiles disposées par paires et symétriquement, pour avoir l'équilibre. La propulsion est obtenue par des surfaces hélicoïdales placées dans les roues elles-mêmes et tournant avec elles, et par une hélice indépendante. Pour diminuer la résistance, les nervures des cadres



sont recourbées suivant le pas de ces hélices. La propulsion se fait ainsi, suivant l'axe des roues à voiles.

D'après M. Socvil, parmi les avantages que présentent les roues à voiles pour la construction des machines volantes, on peut citer :

1° La manière dont s'opère le mouvement des surfaces de sustentation, grâce à laquelle on peut obtenir le maximum d'effet, ces surfaces se déplaçant contre l'air, sur toute leur surface uniformément.

2° La possibilité de régler exactement l'angle sous lequel les surfaces de sustentation se déplacent, puisque cet angle est réalisé automatiquement par l'excentrique fixe, et par le mouvement des tiges du mécanisme.

3° La vitesse assez considérable à laquelle les roues tournent, ce qui assure à la machine une grande stabilité, et le fonctionnement simple du moteur, puisque l'on fait usage d'un mécanisme qui agit directement sur l'axe de la roue. Il n'est pas difficile d'obtenir à la périphérie des vitesses de 30 à 50 mètres, avec la roue à voiles, puisque avec les ventilateurs cette vitesse est encore plus considérable.

4° La possibilité d'un mouvement ascensionnel lent et du déplacement graduel après le démarrage.

5° La résistance minima opposée à l'avant, quand on se déplace dans le sens de l'axe de la machine, ce qui permet d'accroître la vitesse du vol.

Le modèle présenté était celui d'une machine pouvant porter de 4 à 8 personnes : il avait 4 roues à voiles de 6m,40 de diamètre et de 20 mètres de longueur; un moteur de 80 chevaux-vapeur faisant 135 tours à la minute, et donnant aux roues à la périphérie une vitesse de 45 mètres par seconde. Le poids total à enlever pouvait être de 6,400 kilogr. et la vitesse de 20 à 40 mètres par seconde.

Un appareil d'essai plus petit, proposé par l'inventeur, n'aurait qu'une roue à l'avant et une à l'arrière, ayant chacune 3m,20 de diamètre et 3 mètres de longueur, et munies de deux surfaces portantes de 0m,80 de largeur. Au milieu, une machine à vapeur de 10 chevaux, portée par un bâti léger, ferait tourner les roues à raison de 300 tours par minute. Le poids de l'appareil ne serait que de 250 kilogr. Le moteur aurait un cy-



lindre de 150^{mm} de diamètre et la course du piston serait de 300^{mm}. Cette machine pourrait être construite pour quelques milliers de francs.

Le principe de la machine proposé par M. Wellner est ingénieux ; des études expérimentales l'ont appuyé dans une certaine mesure, et il est possible qu'un tel aérolocomoteur puisse donner de bons résultats. Il importe cependant de remarquer qu'une vitesse circonférentielle de 45 mètres par seconde n'assure pas aux palettes, tant s'en faut, la même vitesse verticale de haut en bas, la seule qui importe ; les données fournies par l'ingénieur autrichien pourraient de ce fait se trouver fâcheusement modifiées. Une modification à la disposition des roues à voiles permettrait peut-être de remettre les choses au point. En tout cas, on doit reconnaître que l'invention a de la valeur, et il est à souhaiter qu'on puisse la soumettre à une expérience sérieuse.

A la fin de 1893, la presse fit un certain bruit autour de M. Otto Lilienthal, rédacteur de la *Zeitschrift für Luftschiffahrt,* le bulletin de la Société aéronautique de Berlin, et l'on proclama que le grand problème était résolu. Il n'en était rien cependant, et les expériences du professeur alle-

mand, pour intéressantes qu'elles fussent, ne dépassent pas beaucoup, comme résultat et comme portée, les essais de planement faits en d'autres siècles. Beaucoup de prudence et des précautions sagement prises font surtout la supériorité de l'invention de M. Lilienthal sur celle du moine de Malmesbury.

Du reste, il faut reconnaître que ces expériences ne tendent point directement à la réalisation d'une machine volante industriellement pratique. L'inventeur est plus modeste ; il a fait surtout des expériences élémentaires destinées à l'étude particulière du vol sous une de ses formes : celle du planement. C'est à ce point de vue qu'il faut considérer l'invention et elle ne laisse point d'avoir son mérite. M. Lilienthal dit bien qu'on pourrait ajouter à son planeur une hélice mue par un moteur, mais il ne voulait point d'abord faire une machine volante comme celle de M. H. Maxim, et en procédant ainsi il a fait preuve de sagesse, sinon d'initiative.

Son appareil planeur n'est autre chose qu'un parachute dirigeable ; il est construit en toile et en osier, et sa forme se rapproche de celle de la chauve-souris. Les ailes ne sont point battantes;

elles ont 7 mètres d'envergure et une largeur de $2^m,50$; l'appareil ne pèse que 20 kilogr.; avec le poids de l'expérimentateur le poids à porter est d'environ 100 kilogr. pour une surface de sustentation de 14 mètres carrés. Une queue est adaptée à la machine; elle est surtout utile pour l'atterrissage; les dangers que présentent celui-ci sont d'ailleurs atténués par la position des pieds reportés très en avant, et laissés libres. Il n'y a aucun moteur.

Pour planer, on se laisse glisser obliquement sur l'air, en partant d'un point élevé. Une certaine vitesse initiale, obtenue par une course préliminaire sur le terrain en pente, sert aussi à diminuer la chute de l'appareil. Cette vitesse initiale est augmentée au départ par une manœuvre consistant à incliner légèrement les ailes sur l'avant. Enfin, il est nécessaire de se présenter debout au vent pour pouvoir quitter le sol. On trouvera plus loin l'explication de ces manœuvres.

Avec sa machine, le professeur berlinois a pu parcourir des distances de 300 mètres sans toucher terre; dans certaines circonstances, spécialement favorables, il s'est élevé pendant le trajet à un niveau supérieur à celui du point de départ. La

vitesse du vol est d'environ 9 mètres par seconde; avec un vent debout de 4 à 5 mètres, l'action soulevante serait de 118 kilogr., et la chute de $0^m,50$ seulement par seconde. D'où il résulterait qu'avec des ailes battantes de mêmes dimensions, on se maintiendrait au même niveau avec une dépense de travail de 50 kilogrammètres seulement.

M. Otto Lilienthal a construit une machine à vapeur pouvant fournir deux chevaux effectifs pendant une demi-heure, et ne pesant, avec ses accessoires, que 20 kilogr. Si des difficultés de construction mécanique n'obligent pas l'inventeur à augmenter beaucoup le poids de son appareil pour y adapter des ailes battantes, et s'il ne s'est point trompé dans l'évaluation des forces en jeu, il devra parvenir à voler réellement avec son nouvel appareil.

On ne sait rien des nouvelles expériences qu'il aurait pu tenter, et ce silence peut faire supposer qu'elles n'ont point réussi. Quoi qu'il en soit, les résultats connus sont intéressants, et leur bonne interprétation peut être très utile dans la recherche de quelque autre machine à voler.

La machine volante que M. Hiram Maxim vient d'expérimenter en Angleterre rappelle beaucoup

celles de Henson et de Stringfellow, décrites plus haut. C'est un immense aéroplane formé de plusieurs plans superposés, rigides, fixes et inclinés d'un angle d'un huitième environ. Ces plans assurent la sustentation de la machine quand elle progresse horizontalement sous l'effort de deux hélices actionnées par une machine à vapeur. La machine doit emporter au moins trois voyageurs : un pour la manœuvre des gouvernails horizontaux, un autre pour manœuvrer les gouvernails verticaux, et un troisième chargé de la surveillance et du fonctionnement du moteur avec accessoires. Suivant l'inventeur, le poids des voyageurs ne pouvant être qu'une faible partie de celui de la machine, il a été amené à donner à celle-ci des dimensions extraordinaires. Elle a, en effet, plus de 100 pieds de long du gouvernail avant au gouvernail arrière, sa largeur est de 104 pieds et sa hauteur de 35 pieds. Le poids tòtal est de plus de 7,000 livres, et la machine à vapeur employée pour la faire mouvoir a une force de 363 chevaux-vapeur. La force d'attraction horizontale des deux hélices est de 2,000 livres, ce qui, étant donnée l'inclinaison des plans de soutien, doit assurer une force de sustentation d'au



moins 10,000 livres, plus que suffisante pour porter l'appareil. La vitesse doit être au moins de 40 milles à l'heure.

Afin d'assurer une marche de longue durée, la vapeur est condensée dans des tubes très légers et très minces, le refroidissement se faisant au simple contact de l'air renouvelé par la marche. Ces tubes servent, du reste, à renforcer la construction et forment une partie des cadres de sustentation. L'inventeur, malgré de sérieuses objections, se flatte d'obtenir de bons résultats avec un tel condenseur. Il se proposerait d'ailleurs de substituer un moteur à gaz de pétrole à sa machine à vapeur ; mais, outre qu'on n'a pas encore construit de pareils moteurs d'une puissance de 350 chevaux, et surtout aussi légers qu'il serait nécessaire pour un aéroplane, il faudrait encore de l'eau pour le refroidir.

Pour enlever son immense machine, M. Maxim lui fait parcourir sur des rails une distance d'au moins 400 pieds, afin de donner d'abord une vitesse suffisante. L'appareil étant supposé planer, ce qui implique une grande vitesse horizontale, si la machine motrice vient à s'arrêter, il tombe suivant un plan incliné avec une vitesse de haut en

bas très faible, mais en conservant une vitesse horizontale très grande, l'équilibre étant maintenu par les gouvernails horizontaux. L'atterrissage nécessite un terrain uni et bien dégagé, mais il sera toujours très dangereux pour la solidité de la machine autant que pour la sécurité des voyageurs.

En septembre 1894, M. H. Maxim a tenté un essai avec son appareil complet ; il l'avait placé sur des rails d'une longueur de 600 mètres; au-dessus se trouvaient deux contre-rails de 200 mètres de longueur destinés à empêcher le soulèvement avant qu'on eût acquis une vitesse suffisante pour faire route, et à mesurer la force de soulèvement. L'expérience a si bien réussi que les rails supérieurs ont cédé sous l'effort, et que la machine a été sérieusement avariée, ce qui a forcé de renvoyer les essais. Ils n'ont pas encore été repris depuis.

On peut penser qu'il est heureux pour les voyageurs que leur première tentative de navigation se soit arrêtée aussi tôt. D'ailleurs, une machine très coûteuse, très encombrante, très difficile à manœuvrer, comme l'est celle de M. Maxim, ne paraît pas appelée à un grand avenir, et si elle devait seule donner la clé du problème tant pour-



suivi de la navigation aérienne, celle-ci ne serait pas encore de si tôt pratiquée.

On peut lire dans le numéro de l'*Illustration* du 15 décembre 1894, l'article suivant :

« La navigation aérienne serait-elle définitive-
« ment trouvée? En tous cas, la solution du pro-
« blème paraît tellement avancée, qu'il est pro-
« bable qu'avant la fin de 1895, ce système de
« transport pourra être utilisé industriellement :
« du moins, ce sont les Américains qui le pré-
« tendent.

« En effet, le télégraphe nous apporte la nou-
« velle que l'aéroplane inventé par le professeur
« Langley, le célèbre secrétaire du Smithsonian
« Institute, a été expérimenté avec succès, le 8 dé-
« cembre, dans une petite baie fermée, en Virginie
« (États-Unis). L'appareil s'est élevé contre le vent,
« et a parcouru une certaine distance en volant.
« Cet aéroplane est construit en aluminium; il est
« soutenu par des ailes, et est actionné par des
« hélices tournantes.

« D'autre part, un autre inventeur américain,
« âgé seulement de trente-un ans, M. Walter
« Mercer, a, paraît-il, franchi plus de 60 kilo-
« mètres dans une machine aérienne, l'*Albatros*,

« construite d'après les principes formulés par « Langley. Le voyage aurait eu lieu à Trenton « pendant la nuit et sans témoins. L'*Albatros* a « une longueur de onze pieds six pouces ($3^m 70$), « et une largeur de six pieds (2 mètres) quand « les deux ailes qui le maintiennent dans l'air « sont déployées. L'*Albatros* est construit en alu- « minium, et pèse 85 $\frac{1}{2}$ kilogr. ; il est soutenu « en l'air au moyen de quatre propulseurs, et « poussé en avant par un seul. La puissance to- « tale qui assure le déplacement et l'aviation de « cette machine, est fournie par un moteur élec- « trique de trois chevaux et demi de force nomi- « nale : le tout est peu embarrassant.

« M. Mercer était placé au centre de l'appareil « et en dessous, et commandait le mouvement des « diverses machines par la simple manœuvre d'un « commutateur. Bien que l'essai de M. Mercer se « soit passé sans témoin, il y a tout lieu de croire « que ce n'est pas un humbug, car le professeur « Langley, à l'exposition de Chicago, déclarait que « la machine aérienne de M. Mercer lui paraissait « devoir réussir. » (C. C.).

Le *Petit Temps* du 21 décembre 1894 rapporte les mêmes expériences de la façon qui suit :

« Les *Machines volantes*. Nous avons décrit « récemment les expériences, faites en Angleterre, « par M. Hiram Maxim, sur un aéroplane ou ma- « chine volante de son invention. Sans avoir eu « un plein succès, en raison d'accidents qui se « sont produits au cours de leur exécution, ces « expériences n'ont pas laissé d'être intéressantes « et instructives. Il s'en fait d'analogues en France, « en Autriche, en Allemagne, aux États-Unis.

« Voici quelques détails sur les récentes expé- « riences américaines. D'après ce que rapporte le « *Herald*, un aéroplane combiné par M. Langley, « le secrétaire du Smithsonian Institute, vient « d'être expérimenté avec un certain succès en « Virginie.

« L'appareil, qui est en aluminium, avec ailes « de soie, ressemble à un grand papillon. Il est « poussé par des hélices que fait mouvoir une ma- « chine électrique. Il ne s'agit ni plus ni moins, « paraît-il, que d'établir, en 1895, une ligne de « navigation aérienne entre Washington et San- « Francisco.

« Le professeur Langley avait dit que, si jamais « la navigation aérienne était résolue, ce serait « non pas par les ballons, à cause du gaz même

« qu'ils contiennent, mais par des moyens méca-
« niques. Aujourd'hui, M. Mercer, après avoir
« construit un aéroplane d'après les principes
« énoncés par M. Langley, prétend avoir fait un
« voyage de 40 milles ou 70 kilomètres environ
« avec son navire aérien. Nous lui laissons, bien
« entendu, toute responsabilité au sujet de cette
« affirmation de durée.

« Il l'a fait nuitamment, de peur d'un échec
« public d'abord, et ensuite pour garder provisoi-
« rement le secret sur les principaux détails de
« son invention.

« Suivant le *New-York Herald*, le moteur élec-
« trique de 3 $\frac{1}{2}$ chevaux serait en aluminium;
« mais nous ne voyons pas bien comment les
« masses de fer essentielles et relativement lourdes
« pourraient se remplacer à résistance égale par
« de l'aluminium. Il doit y avoir là une confusion.
« La machine a un propulseur à l'arrière et quatre
« hélices au sommet. C'est à l'aide de ces der-
« nières qu'il s'élève.

« Il n'y a là en somme que des indications som-
« maires et insuffisantes pour que l'on puisse se
« faire une opinion exacte des progrès que les
« nouveaux appareils ont pu réaliser. Mais il est



« probable que les journaux techniques des États-
« Unis ne tarderont pas à compléter ce qu'on a
« appris à ce sujet. »

D'après ces descriptions sommaires et d'ailleurs en partie contradictoires de l'appareil de M. Mercer, celui-ci aurait une grande analogie avec le bateau volant de Nadar, et serait plutôt un hélicoptère qu'un aéroplane. Il est probable que l'appareil a fonctionné, mais sans doute au moyen d'une dynamo-réceptrice placée sur l'appareil et recevant le courant d'une génératrice puissante placée à terre et trop lourde pour être embarquée. Dans ces conditions, la machine de M. Mercer aurait bien pu effectuer sur une piste circulaire un voyage de 70 kilomètres, mais le bateau de Nadar en aurait fait autant si l'on avait pu user du même artifice. Du reste, depuis cette expérience qui promettait tant, les détails techniques ne sont pas arrivés des États-Unis, et si ce n'est pas là un de ces humbugs, dont la presse américaine est coutumière, la fameuse ligne de Washington à San-Francisco n'est pas encore en exploitation.

II

De l'équilibre des surfaces planes en mouvement dans l'air.

Il est facile de constater que lorsqu'un fluide en mouvement, l'air par exemple, rencontre une surface résistante, il exerce sur elle un certain effort, d'autant plus grand que la vitesse dont est animé ce fluide est plus considérable, et que la masse du fluide considérée est plus grande. On a cherché à déterminer une expression mathématique de cet effort. Pour cela, on a naturellement considéré le cas le plus simple, celui d'une masse de fluide homogène, animée d'un mouvement uniforme frappant normalement une surface plane, mais on a été de suite arrêté dans cette analyse par des difficultés insurmontables. Si l'on s'en tient d'abord à une file de molécules tombant normalement sur le plan, la première molécule qui le frappe exerce sur lui une pression proportionnelle à sa masse et

à sa vitesse; si cette molécule était alors anéantie, celle qui la suit exercerait la même action, et comme le nombre des molécules qui viendraient ainsi frapper le plan est proportionnel à la vitesse, la pression serait proportionnelle au carré de cette vitesse. Mais la première molécule, après avoir touché le plan, rebondit en vertu de son élasticité et de celle du plan, elle gêne ainsi l'action de la seconde molécule, qui gêne les suivantes, les molécules de chaque filet étant du reste gênées par celles des filets voisins. L'ignorance où l'on se trouve de la constitution intime des fluides comme de tous les corps, empêche l'analyse des réactions éprouvées dans la masse d'air, dans le cas considéré. On a cherché alors à déterminer expérimentalement la pression exercée dans ce cas simple; les plus grands mathématiciens, d'Alembert, Cauchy, Lagrange, Euler, ont étudié le problème, mais aucun n'a pu le résoudre. Ils ont laissé des formules empiriques qui ne sont point concordantes, parce que, considérant des surfaces limitées par les bords desquelles s'échappaient les filets extérieurs de la colonne agissante, la proportion de ces filets perdus par rapport à leur nombre total variait avec l'étendue de la surface considérée.

On admet comme suffisamment approchée la formule

$$\pi = KSV^2$$

π étant la pression exercée par un fluide animé de la vitesse V, frappant normalement une surface S. K est une constante qui, pour l'air et pour des vitesses ne dépassant pas 50 mètres par seconde, a une valeur déterminée par l'expérience, sensiblement égale à 0.15. Pour d'autres vitesses, cette constante prendrait une autre valeur; pour les grandes vitesses qu'on trouve en balistique, on a même été amené à augmenter l'exposant dont est affectée la vitesse dans la formule.

Dans l'étude qui va suivre, on admettra que l'expression

$$\pi = KSV^2$$

est suffisamment approchée, mais on se rappellera qu'il ne faudra pas trop compter sur son exactitude pour établir, par exemple, les données d'un aviateur, et que dans ce cas il conviendra de procéder par expérimentation directe.

On admettra aussi que le vent, quand il en sera question, est un déplacement en masse et paral-

lèle de toutes les molécules en mouvement; on n'aura du reste à considérer que le vent horizontal.

On admettra également que l'action de l'air en mouvement sur une surface donnée est la même que la réaction qu'éprouverait cette surface animée, par rapport à l'air calme, du même mouvement relatif.

Enfin, quand il sera question d'un élément de surface, même pesant, on le considérera comme un plan sans épaisseur. Pour éviter des ambiguïtés, on appellera cet élément un carreau, sans que cette dénomination permette d'ailleurs de préjuger en rien sa forme ou ses dimensions.

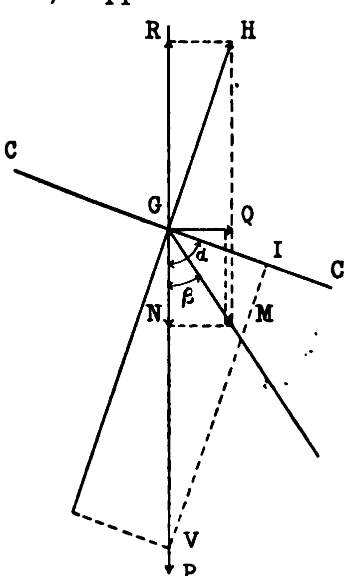
a) Ceci posé, soit d'abord un carreau pesant abandonné horizontalement dans l'air. L'action de la pesanteur le fait tomber verticalement; la résistance de l'air est d'abord nulle, puisqu'elle dépend de la vitesse de chute; celle-ci est donc d'abord accélérée ; mais la résistance croissant avec la vitesse, il arrive un moment où l'équilibre s'étant produit entre cette résistance croissante et le poids constant, le mouvement devient uniforme. La vitesse est alors donnée par la relation

$$P = KSV^2$$



elle dépend du rapport du poids P du carreau à sa surface S. En prenant pour K la valeur 0.15, on trouverait qu'un poids de 1 kilogr. sustenté par une surface de 1 mètre carré tomberait avec une vitesse de $2^m,5$ par seconde; c'est ce qu'a vérifié l'expérience directe.

b) Supposons maintenant le carreau abandonné dans l'air, avec une inclinaison α sur la verticale. Son poids P, appliqué au centre de gravité G confondu avec le centre de figure, le fait d'abord tomber verticalement. La réaction de l'air se fait verticalement de bas en haut, avec la vitesse VG. par exemple; on peut la remplacer par



l'action de deux courants d'air, l'un normal, dont la vitesse sera KG = VG sin α, et l'autre parallèle de vitesse IG = VG cos α. Ce dernier a simplement pour effet de faire glisser les molécules d'air sur le carreau, le premier exerce sur lui une pression

normale dont l'expression est $KSV^2 \sin^2 \alpha$, que nous représentons en GH. Cette force peut se décomposer en deux autres, l'une GR, verticale de bas en haut, qui s'oppose à l'action de la pesanteur, l'autre GQ, horizontale, qui porte le carreau du côté de son arête inférieure. Le carreau est donc sollicité par les trois forces P, GR et GQ; leur combinaison a pour résultante GM, qui a pour effet de faire tomber le carreau suivant un plan incliné sur la verticale d'un angle β. Mais alors la résistance de l'air se fait, non plus de bas en haut, mais suivant MG et l'incidence sur le plan est α-β et non plus α; V étant toujours, à un moment donné, la vitesse du mouvement du plan suivant GM, l'expression de la composante normale est donc $GH = KSV^2 \sin^2 (\alpha - \beta)$. La vitesse d'abord nulle s'accélère en même temps que β augmente. Tant que β est inférieur à α, GM ne peut pas être nul, la vitesse est donc accélérée; mais si β n'augmentait pas, GH et par suite GQ et GR augmenteraient, $GN = P - GR$ diminue, d'où il résulte que β doit augmenter; β ne peut pas être plus grand que α; α est donc sa valeur limite. Le carreau tendra donc à tomber suivant son arête dans le plan d'inclinaison α, et GM ayant atteint sa valeur limite en même

temps que β, le mouvement sera indéfiniment accéléré.

Nous avons dit qu'un courant d'air, agissant obliquement sur un carreau, pouvait être remplacé par deux autres courants, l'un normal, l'autre parallèle, ce dernier ne produisant aucun effet sur le carreau. Cela n'est pas tout à fait exact. Le filet rencontrant le plan en A sur son arête extérieure produira une pression égale à sa force multipliée, par le sinus de son incidence α, cette incidence étant l'angle de la direction du vent avec le plan. Le filet voisin B, avant de rencontrer le plan, sera dévié par le filet qui a agi en A et qui s'écoule suivant BA, l'incidence en B sera donc moindre qu'en A, et comme la force n'a pas été sensiblement augmentée, la pression exercée en B sera moindre qu'en A ; en C elle sera encore moindre qu'en B parce que le filet y sera plus dévié ; elle sera minimum en D à l'arête postérieure du plan. De cette observation, il résulte que la résultante de toutes les pressions partielles sera appliquée, non plus au centre de

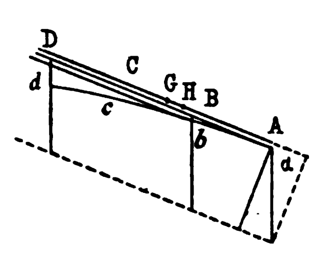
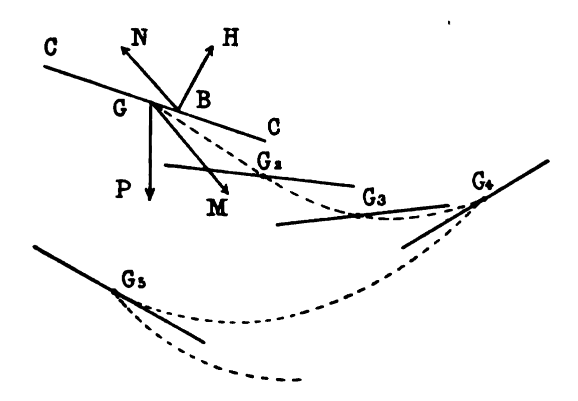


figure G du carreau, mais en un point H d'autant plus rapproché de l'arête antérieure que le vent sera plus fort. Il en résulte aussi qu'une surface incurvée A*bcd* se déplaçant contre l'air, éprouverait une résistance plus grande qu'un plan ABCD dont la projection sur un plan normal au sens du mouvement serait d'ailleurs la même. M. Otto Lilienthal a cru devoir tenir compte de cette résistance dans la construction de son planeur; c'est du reste la raison pour laquelle on donne de l'embu aux voiles des navires.

Revenons au carreau incliné dont nous avons étudié le mouvement tout à l'heure (*b*). Sollicité



par son poids et par le jeu des forces résultant de l'action de l'air, il tend à tomber suivant GM; la



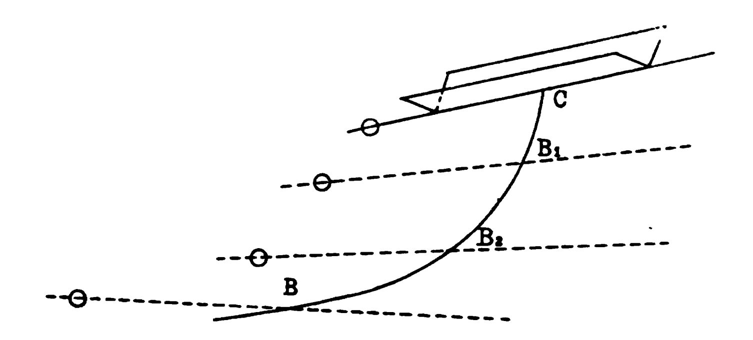
résistance de l'air a sur lui une action représentée par la force BH,. appliquée en B, situé entre son centre de gravité et son arête antérieure. Il se produit un couple de redressement qui a pour effet de rapprocher d'abord le carreau de l'horizontale. En vertu de sa vitesse acquise, son mouvement continue, il prend une inclinaison en sens contraire; mais, sollicité par son poids en sens contraire de son déplacement, le mouvement est retardé, et le carreau arrive au repos en G_4; son inclinaison est alors renversée, il retombe en sens contraire jusqu'en G_5, G_4 étant à un niveau inférieur à G de même que G_5 est plus bas que G_4, à cause des résistances passives. Le carreau tombe donc par une série d'oscillations à droite et à gauche, jusqu'à ce qu'il touche le sol. C'est ce que l'on voit faire à une feuille de papier abandonnée dans l'air.

Le mouvement peut être modifié par une courbure du papier sur toute sa surface, ou sur une partie seulement; ou encore, par un simple déplacement du centre de gravité.

M. J. Pline a fait ressortir ces différences de planement, au moyen d'un appareil très simple. Une feuille de papier, de forme carrée, est pliée en deux, de façon à former un angle dièdre obtus très

ouvert ; au fond de cet angle, on fixe une tige de métal, munie à ses extrémités de masses pesantes de même poids. On a ainsi un système stable dans l'air. Si on l'abandonne à lui-même, on le voit tomber suivant CB, verticalement.

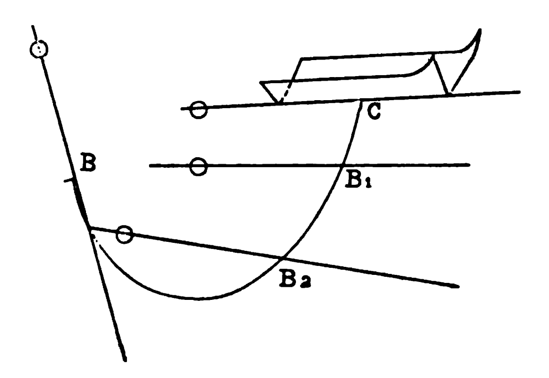
Si l'on enlève une des masses, l'appareil s'incline légèrement et tombe suivant une trajectoire oblique curviligne d'un mouvement accéléré ;



son inclinaison, maximum au commencement de la chute, va en diminuant par le fait de la résistance de l'air ; elle peut même changer de sens si la masse est légère, et le mouvement devient alors

oscillatoire, comme on l'a vu plus haut. La chute se fera dans un plan vertical, si les deux faces du dièdre sont égales; sinon, il y aura une inflexion du côté de la face qui présente le moins de résistance.

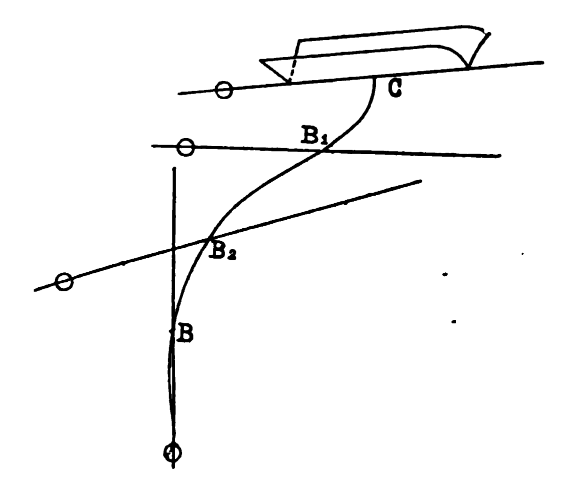
Si, dans l'appareil, on relève par une courbure les deux arêtes postérieures ou antérieures des faces du dièdre, on le voit, après une chute oblique



d'une certaine durée, remonter contre la pesanteur, mais d'un mouvement retardé, et à une hauteur moindre que celle du point de départ. Ce qui a été dit plus haut suffit à expliquer ce phénomène que l'on observe du reste chez les oiseaux, surtout chez les oiseaux de proie, et qu'en terme de fauconnerie on appelle une *ressource*.

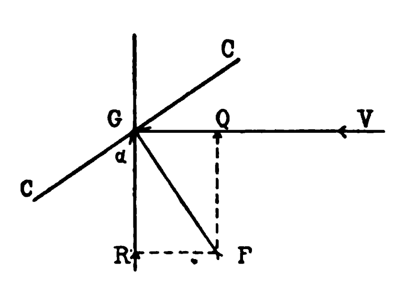
Si les deux faces étaient au contraire rabattues

en sens contraire, la première inclinaison due à la suppression de l'une des masses ne ferait qu'augmenter par suite de la résistance de l'air, et l'on



verrait l'appareil s'incliner rapidement la pointe en bas, et venir frapper violemment le sol. Dans ce cas la direction nouvelle serait favorisée par la pesanteur, qui accélérerait la chute au lieu de la ralentir. Au commencement du mouvement, la résistance de l'air ne se faisant que très faiblement sentir, l'appareil se comporte d'abord comme si les faces du dièdre étaient bien planes, une des masses seulement étant enlevée; mais il y a bientôt une inflexion, comme il est indiqué sur la figure.

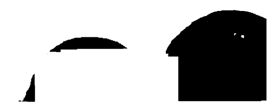
c) Soit un carreau CC incliné d'un certain angle α sur la verticale, et recevant sur sa face inférieure un vent régulier horizontal ; supposons qu'une glissière fictive empêche le déplacement de ce carreau dans le sens horizontal, tout en le laissant libre dans le sens vertical. L'action du vent VG se réduit à une force normale FG qui se décompose en deux autres, l'une QG dont l'effet est d'appliquer le carreau sur la glissière, l'autre RG qui le force à monter.



L'action de la glissière peut être remplacée par une force égale à QG dirigée en sens contraire, c'est-à-dire contre le vent ; le carreau montera dans un plan vertical. Si cette force est plus grande que GQ, le plan montera en gagnant dans le vent. Si elle est plus faible, le plan montera en dérivant sous le vent. Tout ceci s'applique évidemment au cas où le carreau est supposé sans poids ; s'il est pesant, une combinaison très simple des forces en jeu permet de se rendre compte du mouvement produit.

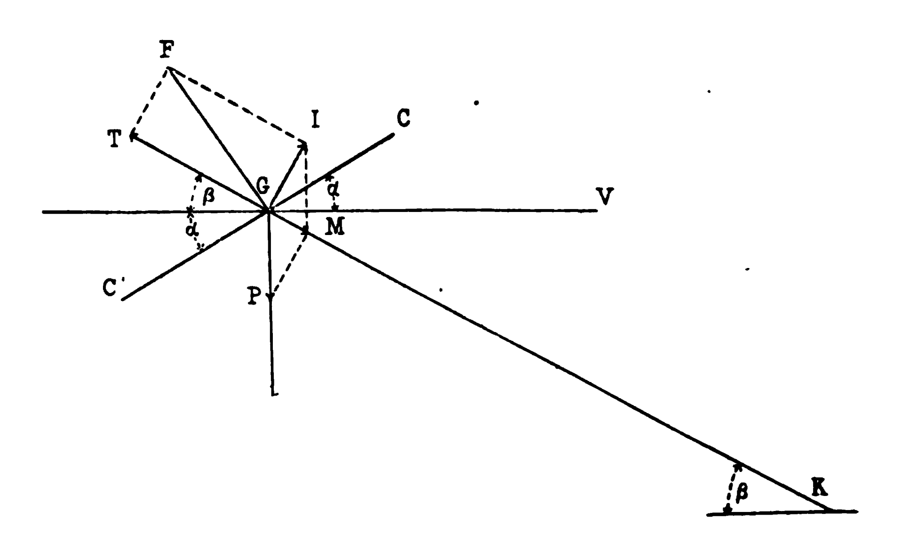
Quand les oiseaux, par un vol ramé antérieur, ou par un planement préalable en chute oblique, ont acquis une certaine vitesse, on les voit quelquefois présenter obliquement leurs ailes au vent créé par leur mouvement ; alors, sans que leurs ailes ne fassent aucun mouvement, ils continuent à progresser en s'élevant, mais la pesanteur et les frottements ont vite absorbé la force acquise et, si le vol n'était point repris, l'oiseau tomberait en arrière suivant un plan incliné, comme un carreau abandonné à lui-même sous une certaine inclinaison (*b*). Si l'oiseau vole vent debout, sa vitesse acquise peut lui permettre de s'élever en gagnant dans le vent d'abord, bientôt il dérive, mais il peut continuer à s'élever, enfin il finit par descendre, la dérive résultant de la chute en arrière étant augmentée par le vent.

Si un oiseau pesant, au repos, présente ses ailes à un vent assez fort qui les frappe par-dessous, l'inertie l'empêche d'abord de dériver ; elle remplace la glissière considérée plus haut. L'oiseau s'élève donc d'abord facilement et sans effort. C'est pour cela que l'on voit presque toujours les oiseaux planeurs se présenter debout au vent pour s'envoler ; dans certains cas, surtout pour les gros



oiseaux de mer, l'essor vent arrière serait tout à fait impossible. Cette remarque est à retenir, elle sert de base à la théorie que le professeur Langley a donnée du vol à la voile.

d) Au lieu de supposer le carreau retenu par une glissière, imaginons-le relié par une corde inextensible à un point fixe K; convenons qu'il est incliné d'un angle constant α sur l'horizon, et qu'il reçoive, sur sa face inférieure, un vent horizontal



régulier VG venant du côté où se trouve le point fixe K. L'action du vent se réduit à une pression normale GF constante, puisque le vent est uni-

forme et que l'incidence est constante. On décompose cette pression en deux forces, l'une GT de traction sur la ficelle, et l'autre normale dont l'effet est de faire monter le carreau en faisant décrire au point G une circonférence autour du point K.

Sur la figure, on voit facilement que $\widehat{IGF} = \alpha + \beta$ puisque les angles $\widehat{IGF}$ et $\widehat{TGC}$ ont leurs côtés perpendiculaires. GI a donc pour expression

$$GI = GF \cos(\alpha + \beta)$$

α est constant par hypothèse, à mesure que le carreau monte, β augmente, par conséquent $\cos(\alpha + \beta)$ et par suite GI diminuent. Sa valeur maximum a lieu au départ : elle est alors égale à $GF \cos \alpha$; pour que le carreau puisse s'enlever, il faut que ce maximum soit supérieur à P, le poids du carreau ; nous supposons cette condition remplie. A mesure que le carreau monte, GI diminue, le poids étant constant ; il y a donc une hauteur limite que le carreau ne peut dépasser ; quand il l'a atteinte, il se tient en équilibre, et la résultante des forces GI et P est GM dirigée suivant GK. La figure montre que $GIM = \beta$ et que $IM = P$.

On a donc alors

$$GI = P \cos \beta$$

L'équation d'équilibre est donc

$$GF (\cos \alpha + \beta) = P \cos \beta$$

Remarquons que le point K peut être plus élevé que le point d'où s'enlève le carreau, c'est-à-dire que β peut être négatif; pour que le carreau ait une tendance à monter, il suffit que $\beta < \alpha$, c'est-à-dire que la corde l'appelle toujours d'en dessous; pour qu'il puisse s'enlever, il faut que $P < CF \cos (\alpha - \beta)$. CI sera encore maximum au départ, et si l'on remplit la condition

$$CF \cos \alpha = P$$

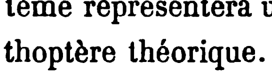
la position d'équilibre sera obtenue pour $\beta = o$, c'est-à-dire quand la corde sera horizontale.

On peut remplacer la force de traction de la corde par une force dirigée dans le même sens, obtenue par exemple au moyen d'une hélice à axe horizontal, dans le dernier cas considéré. On aura alors réalisé un aéroplane analogue à celui qu'a essayé M. Maxim.

Dans un cerf-volant, l'angle d'inclinaison α n'est pas constant, l'incidence du vent est donc aussi variable; elle est encore diminuée par suite du mouvement de montée du cerf-volant qui a pour

effet de faire venir d'en haut le vent apparent qui le supporte, jusqu'à ce que l'équilibre soit obtenu.

e) Soit un système composé d'un centre G pesant, d'où émane une force intérieure imprimant un mouvement alternatif régulier de montée et de descente à un carreau horizontal CC sans poids, soumis à la résistance de l'air pendant la descente, et n'offrant aucune résistance à la montée. Ce système représentera un orthoptère théorique.



Soit a l'amplitude de l'oscillation du carreau de surface S, φ la vitesse du mouvement régulier dont il est animé ; appelons

$$t = \frac{1^{\text{sec}}}{n}$$

la durée d'une oscillation complète ; on a immédiatement la relation

$$\varphi = \frac{2a}{t} = 2an.$$

Considérons le système pendant une période entière t ; quand le carreau est relevé par la force émanant de G, il n'éprouve aucune résistance, le système, soumis à la pesanteur, tombe d'un mou-

vement accéléré pendant le temps $\frac{t}{2}$; quand le carreau est rappelé vers le centre G, il exerce sur l'air une pression de haut en bas, dont la réaction de bas en haut force le centre G à monter. Le système continue d'abord à tomber, mais d'un mouvement retardé, et si le travail fourni par la force intérieure est suffisant, il remonte. Pour qu'après une oscillation complète le centre G soit revenu à son premier niveau, il faut que ce travail soit équivalent à celui qui est produit par la chute du système. Or, celui-ci a pour expression

$$t = P \times e$$

et d'après ce que l'on vient de voir

$$t < P \times \frac{1}{2} g t^2.$$

Le travail à fournir pendant l'unité de temps sera donc

$$\text{(A)} \qquad T < P \times \frac{1}{2} g \left(\frac{1}{n}\right)^2 \times n = \frac{Pg}{2n}$$

puisqu'il y a n oscillations complètes par seconde.

Cette formule montre que le travail à dépenser pour maintenir un orthoptère en équilibre dans l'air est inversement proportionnel au nombre de

battements d'ailes. (Si ce nombre était infini, le travail serait nul.)

En tenant compte de la relation $\varphi = 2an$, on voit que pour une vitesse de mouvement donnée il y a lieu de réduire l'amplitude d'oscillation; si cette amplitude est donnée, on cherchera à obtenir la plus grande vitesse de mouvement possible.

Le travail fourni par le centre G en une oscillation a pour expression

$$T' = KS\varphi^2 a = 4KSa^3n^2$$

on peut donc écrire

$$T' = T = 4KSa^3n^2 < P \times \frac{1}{2}gt^2$$

et pour l'unité de temps

$$T = 4KSa^3n^3 < \frac{Pg}{2n}$$

d'où

$$\text{(B)} \qquad \frac{P}{S} > \frac{8Ka^3n^4}{g}.$$

Appliquons ces résultats à un exemple numérique, soit un orthoptère idéal ayant une aile de 1 mètre carré dont l'amplitude d'oscillation serait de 0^m,5, avec une vitesse de 10 mètres par seconde, ce qui donne 10 battements pendant le



même temps. Le travail dépensé pendant l'unité de temps sera

$$T = 4KSa^3n^3 = 4 \times 0.15 \times 1 \times \frac{1}{8} \times 1000 = 75 \text{ kilogrm.}$$

et le poids sustenté sera

$$P > \frac{2nT}{g} = \frac{2 \times 10 \times 75}{10} = 150 \text{ kilogr.}$$

Ces chiffres ne peuvent s'appliquer qu'à un orthoptère théorique, tel qu'il a été défini plus haut. En pratique, l'aile, bien que légère, sera toujours pesante, elle ne sera pas non plus sans résistance aucune à la montée, d'où il résulte que, pour une bonne utilisation, l'amplitude de battement a une valeur minimum qu'on ne saurait réduire; il y a aussi une limite pratique à la vitesse que peut donner une machine motrice quelconque, le nombre des battements d'ailes est donc aussi limité; mais les considérations qui viennent d'être exposées sont toujours vraies, et il y aura intérêt à augmenter le plus possible le nombre des oscillations.

L'auteur a cherché à vérifier expérimentalement les formules données plus haut; pour cela, il a fait construire un appareil se rapprochant sen-

siblement des conditions théoriques. La surface battante d'environ 45 décimètres carrés à la descente, était réduite à 4 décimètres carrés à la montée; l'amplitude pouvait varier de 5 centimètres à 20 centimètres. Mais la surface oscillante avait un poids assez considérable bien que l'expérience eût démontré que sa solidité n'avait pas été exagérée; une grande partie du travail dépensé était ainsi perdue inutilement; il s'en perdait aussi une partie sensible à cause d'une autre circonstance à laquelle il était impossible de se soustraire. L'évaluation de ces pertes de travail n'était guère possible. Malgré tout, avec une puissance d'environ 20 kilogrammètres, avec une amplitude d'oscillations de 10 centimètres et un nombre de battements de 400 à 600 par minute, la force de soulèvement mesurée a atteint de 3 à 5 kilogr., et elle ne représentait certainement qu'une assez faible partie de celle qu'on eût obtenue avec un appareil mieux conditionné.

M. Wellner a déterminé expérimentalement, dans des conditions un peu différentes, le poids qui pouvait être sustenté par une surface battante avec une dépense de travail donné, et il est arrivé au chiffre de 97 kilogr. pour un cheval-vapeur.

Les conditions dans lesquelles il a opéré n'étant point non plus très favorables.

On voit que nous sommes loin des données de Navier qui prétendait qu'une hirondelle dépensait pour voler le travail d'un dix-septième de cheval-vapeur. Nous ne sommes pas plus d'accord avec Lalande quand il démontre mathématiquement que l'homme aurait besoin, pour voler, d'ailes de cent quatre-vingts pieds de longueur.

En effet, nos formules appliquées, par exemple, à une buse commune qui, pour un poids de 785 grammes, a une surface alaire de 1,650 centimètres carrés, et qui battrait des ailes 3 fois par seconde, donnent pour le travail dépensé pour la sustentation un maximum de 0,33 kilogrammètre. Pour une hirondelle ce maximum ne serait pas de 0,01 kilogrammètre. Quand nous étudierons le vol des oiseaux, nous verrons par d'autres considérations que ces résultats doivent être très rapprochés de la réalité.

Pour établir les données de l'orthoptère, nous avons supposé que le carreau rencontrait en descendant un air calme qui lui présentait toujours une résistance exprimée par $KS\varphi^2$. Quand on veut mesurer expérimentalement la puissance de

sustentation d'un tel appareil, ou de quelque autre agissant d'une façon semblable, comme une hélice par exemple, on le fixe généralement sur une balance ou sur un ressort pesé qui donne directement la valeur de la traction. Or, en procédant ainsi, l'appareil est à peu près fixe dans l'espace, chaque battement d'aile ou chaque tour d'hélice produit, de haut en bas, un courant qui devient continu, de sorte que le point d'appui se dérobe toujours. L'indication donnée par la balance ou par le ressort est bien la traction exercée, dans les conditions de l'expérience, par l'aile de l'orthoptère ou par l'hélice; mais le travail dépensé pour mettre en mouvement l'air déplacé n'est pas enregistré, et ce travail inutile absorbe en réalité une grande partie de la puissance employée. Il n'en serait pas de même si l'appareil pouvait être déplacé horizontalement, de façon à trouver à chaque instant de nouvelles couches d'air calme, fournissant un appui nouveau à chaque battement; mais une expérience de mesure est très difficile à réaliser dans ces conditions.

C'est pour avoir fait leurs expériences au point fixe, que Borelli et Lalande ont trouvé ces nombres fantastiques qui ont fait dire à un autre savant,

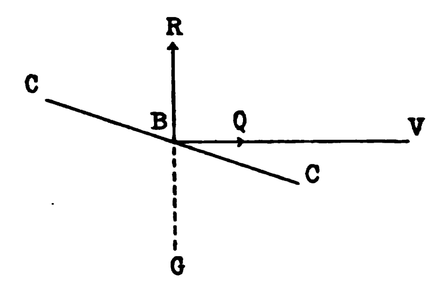


M. Bertrand : « Autant vaudrait prouver par le calcul que les oiseaux ne peuvent pas voler, ce qui ne laisserait pas d'être compromettant pour les mathématiques; » c'est pour cela que les espérances fondées sur la sainte hélice, par Nadar et ses amis, furent si complètement déçues ; c'est pour cela que les frères Tissandier, en 1883, trouvèrent que l'hélice de leur ballon exerçait, sur un dynamomètre fixe, une traction de 12 kilogr. seulement, quand elle tournait à 160 tours par minute ; c'est pour cela que M. Maxim est obligé d'employer une machine de 360 chevaux dans son aéroplane ; c'est pour la même raison que dans toute machine volante la force au départ doit être considérable, surtout avec l'emploi de l'hélice comme propulseur.

Pour que les résultats en soient exacts, les expériences sur l'aviation doivent donc se faire sur un appareil en marche. C'est d'abord supposer le problème résolu, et c'est ce qu'ont fait les Olivier de Malmesbury, les Allard, les marquis de Bacqueville, et beaucoup d'autres que nous n'avons pas tous cités. On a vu ce que leur avait coûté leur témérité. Mais ce n'est pas dire que ces expériences sont impossibles ; en procédant avec

beaucoup de prudence, et en prenant des précautions raisonnées, comme l'a fait M. Lilienthal, on arrive à un résultat sans se casser le cou.

f) L'orthoptère théorique que nous venons d'examiner assurait simplement la sustentation d'un certain poids dans l'air, sans lui communiquer aucun mouvement horizontal. On va voir qu'il est bien facile d'en faire une machine volante, théorique bien entendu. Au lieu de prendre un carreau oscillant horizontal, supposons-le incliné d'un certain angle, les autres conditions



étant les mêmes, et le mouvement alternatif de montée et de descente se faisant toujours verticalement. Suivant une décomposition de forces que l'on a eu l'occasion de voir plusieurs fois déjà, l'action de l'air pendant la descente du carreau se réduit à deux forces, l'une verticale BR,

l'autre horizontale BQ. La force verticale assure la sustentation, la force horizontale imprime au système une vitesse horizontale B V qui peut être très grande, si la résistance opposée au mouvement dans ce sens est assez faible.

L'étude qui précède n'est point une théorie plus ou moins approchée du vol de l'oiseau, mais les propositions qui y sont développées appuieront utilement l'observation qui en sera faite dans le chapitre suivant. L'auteur n'a pas voulu conclure ici à la solution d'un aviateur quelconque ; le lecteur est libre d'user des quelques lemmes qui viennent d'être exposés pour arriver au développement de ce théorème très difficile ; mais, s'il veut éviter des déceptions, il fera bien de tenir compte des réserves faites dans ce chapitre.



III

Le vol des oiseaux

Une observation très superficielle montre qu'il y a, suivant les espèces, des différences dans la façon de voler des oiseaux. Les petits oiseaux ont généralement un vol précipité, l'amplitude des battements de leurs ailes est ordinairement assez grande ; on les voit souvent, après qu'ils ont acquis une certaine vitesse, suspendre un instant leur vol et replier leurs ailes comme s'ils voulaient présenter moins de résistance à l'air qu'ils déplacent. Les ailes des grands oiseaux, surtout celles des grands voiliers, qu'on voit sur la mer, ont au contraire, des battements beaucoup moins fréquents, d'une amplitude souvent très faible ; ces ailes restent presque toujours complètement déployées, et le vol se rapproche d'un planement continu.

Il y a longtemps qu'on a remarqué aussi que

les petits oiseaux avaient, relativement à leur poids, des ailes plus développées que les oiseaux plus lourds, et que chez eux la fréquence des battements était aussi beaucoup plus grande.

Ces faits qui pourraient surprendre tout d'abord, sont faciles à expliquer. Considérons en effet deux oiseaux semblables et de la même espèce, dont les dimensions linéaires sont, par exemple, dans le rapport de 1 à l. En prenant pour unités de surface, de volume, de poids et de force la surface alaire, le volume, le poids et la force de l'oiseau dont la dimension est 1, celui dont la dimension est l aura une surface alaire l^2, un volume l^3, par conséquent un poids l^3, puisque nous lui supposons la même densité qu'au premier, et une force l^3, car il est logique de supposer que la force est proportionnelle aux poids des muscles semblables dont les volumes sont dans le rapport 1 à l^3. On voit que le rapport $\frac{P}{S}$ du poids à la surface alaire, étant 1 pour l'oiseau de dimension 1, il est de $\frac{1}{l}$ pour un oiseau de dimension l. Par exemple un oiseau 2 fois plus grand qu'un autre semblable aura besoin pour se soutenir d'une surface alaire 2 fois moindre relativement à son poids.



Pour une même amplitude de battement, l'oiseau qui a des ailes de longueur l frappe l'air avec une vitesse qui est l, si la vitesse avec laquelle l'oiseau de dimension 1 frappe cet air est prise pour unité. Or nous savons que l'effet du vent sur une surface est proportionnel au carré de sa vitesse, comme il est aussi proportionnel à la surface ou, ce qui revient au même, au carré de ses dimensions. Par conséquent, l'action de l'aile de l'oiseau unité étant 1, celle de l'oiseau de dimension l sera l^4. Mais les poids des deux oiseaux étant dans le rapport de 1 à l^3, il en résulte que pour produire le travail nécessaire à la sustentation qui est proportionnel au poids, l'oiseau le plus grand n'aura pas à fournir un nombre de battements d'ailes aussi grand.

Pour des oiseaux semblables, le rapport

$$\frac{\sqrt[3]{P}}{\sqrt{S}}$$

doit être constant. On l'a déterminé pour beaucoup d'oiseaux d'espèces et de poids différents. On a trouvé qu'il était variable, mais cependant dans des limites assez restreintes. Ces variations se conçoivent aisément par les différences de formes que

présentent les ailes. En effet, une aile battante longue et étroite assure mieux la sustentation qu'une aile plus large mais plus courte, quoique de même surface; et il est aussi naturel de constater des différences d'aptitude au vol chez les oiseaux, que des différences d'aptitude à la course chez les quadrupèdes. De plus, toute la puissance d'un oiseau n'est pas uniquement dépensée dans le vol, à assurer la sustentation ; il en revient une part à la propulsion, et la proportion entre ces deux parts varie beaucoup suivant les espèces.

C'est en se basant sur les considérations qui précèdent que le docteur Hureau de Villeneuve a calculé qu'une chauve-souris du poids d'un homme n'aurait pas besoin pour voler d'ailes de 3 mètres de longueur.

On calculerait, comme il l'a fait, qu'une buse du poids de 84 kilogr. aurait une surface d'ailes de $2^{mq},64$ seulement; il lui suffirait pour se soutenir de 3 battements d'ailes toutes les 2 secondes, et elle n'aurait pas à fournir par seconde un travail supérieur à 33 kilogrammètres. Ces chiffres tendraient à prouver que l'homme, muni d'une paire d'ailes convenables, pourrait voler sans qu'il eût besoin d'une machine quelconque pour mou-

voir ces ailes. Ce résultat surprenant a déjà été trouvé par M. Lilienthal avec son appareil planeur. M. Wellner a trouvé qu'une surface pouvait sustenter 97 kilogr. pour une dépense de travail de 75 kilogrammètres, et son appareil était certainement moins bien conditionné que ne l'est une buse pour se soutenir en l'air. Quoi qu'on en puisse penser, il faut tenir pour suffisamment approchés les chiffres qui viennent d'être donnés. Est-ce à dire que nous verrons l'homme voler sans le secours d'une machine? Non, car les chiffres donnés sont calculés pour le vol normal; un homme pour produire un travail utile de 33 kilogrammètres devrait en développer plus, car ses muscles n'étant point appropriés au vol, même avec des ailes artificielles il lui faudra une machine pour mouvoir ces ailes, et il ne pourrait fournir un tel travail que pendant quelques secondes; de plus l'essor demande une dépense de travail bien plus considérable, et il reste encore la condition d'équilibre difficile à maintenir quand on n'a pas toute sa liberté d'action.

L'examen de l'aile d'un oiseau montre que cet organe est merveilleusement disposé pour résister à une pression se faisant par en dessous, mais



qu'il ne peut de même recevoir par en dessus l'action d'un courant d'air violent, car alors l'air trouverait une issue assez facile entre les plumes, et les muscles extenseurs n'étant pas assez forts, l'aile se replierait au moins en partie. De cet examen, on a conclu à une théorie du vol qu'on ne saurait admettre. On disait que l'oiseau frappe l'air avec une très grande vitesse en baissant l'aile, produisant ainsi une action ascensionnelle considérable; relevant l'aile beaucoup plus lentement, il se produit une force qui tend à faire tomber l'oiseau mais à cause de la lenteur du mouvement et de la conformation de l'aile, cette force est beaucoup plus faible que celle de montée ; on conçoit facilement que, dans ces conditions, la différence entre ces deux actions puisse être suffisante pour assurer la sustentation. Dans une autre théorie, on admettait que l'aile de l'oiseau se relevait suivant son arête de façon à ne pas offrir de résistance pendant qu'elle remonte, effectuant ainsi un changement de plan de 90° à chaque demi-battement. M. Pettigrew, dans un ouvrage sur la locomotion chez les animaux, tenant compte de ce que l'aile ne se présentait pas sous la forme d'une surface plane, mais sous celle d'une surface gauche se

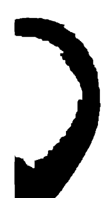
rapprochant de l'hélice, assimile le mouvement de l'aile à celui de l'hélice d'un navire.

L'hypothèse de M. Pettigrew ne paraît pas admissible *à priori,* car les muscles de l'oiseau ne semblent pas permettre un mouvement aussi compliqué. Le docteur Marey l'a du reste réfutée par l'observation directe du vol, au moyen d'une méthode très exacte. Il a en même temps montré que les deux autres théories n'étaient pas plus vraies. Du reste, la simple observation du vol d'un oiseau, observation facile à faire quand ce vol n'est point très rapide, suffit à faire voir que les choses ne se passent point ainsi. En réalité, et chez tous les oiseaux, l'aile s'élève plus vite qu'elle ne s'abaisse, et cette circonstance s'explique très bien par ce fait que c'est en descendant que l'aile éprouve la réaction qui supporte l'oiseau dans son vol. De plus, il ne paraît pas que le mouvement des ailes soit autre chose qu'un battement alternatif qui s'effectuerait sensiblement suivant un plan.

Nous allons voir qu'on peut expliquer le phénomène du vol des oiseaux en tenant compte de tous les faits d'observation qui viennent d'être signalés.

Pour cela, supposons un oiseau dont les ailes sont déployées ; pour plus de simplicité, admettons que l'aile soit plane, et qu'elle oscille autour d'une charnière horizontale ; nous supposerons aussi que l'arête antérieure de l'aile est une ligne droite rigide, toujours normale à la charnière, mais que, en même temps, sous l'effort des réactions produites par le vol, et en vertu d'une certaine élasticité, l'aile ait la facilité d'osciller, dans de certaines limites, autour de cette arête; quand les ailes seront déployées, sans subir aucune réaction, l'arête antérieure sera normalement plus élevée, l'aile étant inclinée sur l'arrière, d'un certain angle assez faible. Pour plan de la figure, nous prendrons le plan longitudinal de l'oiseau, et nous supposerons que la charnière se trouve dans ce plan.

Soit G le centre de gravité, situé au-dessous de la charnière yy. Quand l'aile s'abaisse, les différentes sections par des plans parallèles à celui de la figure sont relevées par l'arrière, d'autant plus que ces sections sont plus éloignées de la charnière, puisque la vitesse croît avec cet éloignement, et que la réaction de l'air sur un point de l'aile est proportionnelle au carré de la vitesse li-

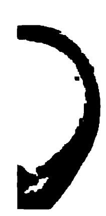


néaire de l'aile en ce point. Considérons la résultante des actions totales sur les deux ailes ; l'oiseau étant symétrique, cette résultante est située dans le plan de la figure ; à cause du relèvement de la partie postérieure de l'aile, cette force est inclinée sur l'avant, représentons-la par C F, C étant la projection sur le plan de la figure du point d'application γ de toutes les réactions produites sur une aile.

La force C F peut être décomposée suivant C R et C Q; une partie N R de la force C R compense le poids P; le résidu C N communique à l'oiseau un mouvement d'ascension vertical de vitesse G V; la force C Q lui communique un mouvement hori-



zontal de vitesse G V′; ces deux mouvements combinés font que l'oiseau se déplace suivant Gφ, avec une vitesse représentée par Gφ. (Le point C ne se confondant pas avec le centre de gravité G, on voit qu'il se produit des couples de bras de levier G C dont nous ne tenons pas compte; or, on voit que ces couples peuvent se compenser en partie à chaque instant, et la position du point C par rapport à G variant suivant l'inclinaison de l'aile sur sa charnière, on voit que l'effet peut se compenser pendant une révolution complète de l'aile, sans qu'il en résulte autre chose qu'un léger balancement de l'oiseau d'avant en arrière. Ceci montre que l'équilibre de l'oiseau exige une certaine position moyenne des ailes, autrement dit une relation entre les positions du centre de gravité et du point d'attache de l'aile.) Quand l'aile est complètement abaissée, l'oiseau est en G_1, le point C se trouve en C_1 (qui peut être plus bas que G_1, sans que l'équilibre soit compromis). L'oiseau relève alors les ailes, l'élasticité de celles-ci fait que la section qui se projetait suivant A_1, A'_1, se rabaisse autour de A, et cette action, indépendante de la volonté de l'oiseau, fait que l'aile appuyant toujours sur l'air, il reste encore une



composante d'ascension ; pendant ce temps, à cause de la vitesse acquise, l'oiseau continue à progresser suivant une ligne G_1, g G_2 de plus en plus infléchie vers le bas, puisque le poids de l'oiseau est de moins en moins compensé. La force ascensionnelle n'est cependant jamais nulle, car on voit que l'aile repose toujours sur l'air par sa face inférieure, même quand elle se relève, mais la composante de propulsion est annulée dès que l'oiseau a commencé à relever ses ailes, et il se produit même une composante qui tend à arrêter le mouvement de propulsion maintenu par la quantité de mouvement acquise. Quand l'aile est complètement relevée, la section passant par γ se projette suivant $A_2 A'_2$, l'arête antérieure étant plus relevée. Dès que l'aile s'abaisse, cette section s'incline en sens inverse, et le jeu des forces recommence comme au départ, imprimant à l'oiseau une nouvelle ascension, en même temps qu'une nouvelle force de propulsion.

En résumé, on voit que, grâce à la flexibilité de l'aile, et sans que l'oiseau n'ait à produire autre chose qu'un mouvement alternatif très simple, le vol peut se produire sans que l'aile ne rencontre jamais l'air que par sa face inférieure, et



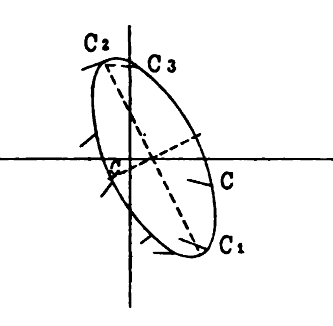
cela à-cause d'un mouvement de propulsion horizontal assez rapide qui fait que l'aile n'a pas à effectuer de changements de plan considérables, autrement l'élasticité ne suffirait plus, et il faudrait exiger de l'oiseau un mouvement compliqué que ne permet pas le jeu de ses muscles.

Le mouvement du centre de gravité se fait suivant une sinusoïde d'autant plus allongée que la propulsion horizontale est plus rapide, et que l'ascension recherchée est moins grande, dans le sens positif. La vitesse du centre de gravité sur cette trajectoire est aussi variable et pourrait également être représentée par une courbe de forme sinusoïdale plus ou moins allongée. Du reste un régulateur naturel et inconscient fait que ces deux courbes sont assez allongées. En effet, si l'on tient un oiseau par les extrémités de ses ailes déployées, on remarque que ses ailes ne sont point planes, comme nous venons de le supposer, mais qu'elles présentent au contraire une certaine courbure régulière, la partie postérieure de l'aile étant d'autant plus relevée que l'on s'éloigne davantage du corps de l'oiseau. L'effet de changement d'inclinaison dont nous avons parlé se produit bien sur une grande partie de l'aile voisine de l'extrémité;



mais la partie la plus rapprochée du corps reste toujours inclinée sur l'arrière, de sorte qu'elle agit comme les surfaces inclinées d'un aéroplane, pour modérer à chaque instant la chute, et même à produire une ascension; en même temps elle ralentit légèrement le mouvement de propulsion horizontal qu'elle régularise, puisque ce ralentissement est d'autant plus grand que la force de propulsion est plus considérable.

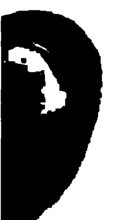
Nous avons supposé aussi que l'arête antérieure était rigide, et qu'elle restait toujours normale à la charnière. Or, cela n'est pas exact; la force de propulsion C Q (voir la figure) agissant d'abord sur l'aile, renvoie celle-ci sur l'avant, de sorte que la projection de la trajectoire de l'extrémité de l'aile par rapport à deux axes perpendiculaires passant par le point G est une sorte d'ellipse allongée, l'aile étant portée sur l'avant à mesure qu'elle descend, et revenant naturellement en arrière pendant le mouvement de remontée. Cette trajectoire est ici représentée avec



les orientations successives du plan moyen de l'aile pour les positions correspondantes.

Cette théorie du vol de l'oiseau est vérifiée de tous points par les expériences méthodiques du docteur Marey, qui, après une analyse très complète de ce mouvement en apparence très compliqué, a pu le réaliser par des appareils très ingénieux, le reproduisant synthétiquement.

L'observation montre que le plan moyen des oiseaux, quand ils volent, n'est pas horizontal, et que les ailes ne battent pas nécessairement verticalement de haut en bas, surtout chez les oiseaux lourds qui ont des ailes relativement petites. Ce fait s'explique facilement par la nécessité d'assurer une force ascensionnelle suffisante pour maintenir le niveau de l'oiseau. En effet, si l'oiseau se penche en arrière, la composante d'ascension, produite par le mouvement de propulsion, est augmentée, puisque la zone rapprochée du corps de l'oiseau, qui forme en quelque sorte la partie passive de l'aile, est augmentée, et que l'incidence de l'air sur cette surface planante est plus favorable à la sustentation : il est vrai qu'alors le mouvement horizontal est moins rapide. On peut facilement voir que cet effet est recherché, par



exemple par un pigeon quand il veut s'élever à un point de niveau supérieur quoique rapproché. Ce même fait explique aussi pourquoi les grands voiliers ne peuvent atteindre à un niveau beaucoup plus élevé qu'en décrivant des orbes allongés et superposés, qui leur font faire un grand parcours horizontal.

Les changements d'équilibre du plan de l'oiseau sont obtenus par un changement du centre de gravité par rapport au centre de sustentation, changement obtenu par un déplacement de la tête et des pattes, et par l'action de la queue qui est un véritable gouvernail de profondeur. Les changements de direction semblent obtenus aussi par un déplacement du centre de gravité vers la droite ou vers la gauche, qui a pour effet de changer l'action des deux ailes, celle qui est plus basse donnant des composantes de soulèvement et de propulsion beaucoup moindres que celle qui est plus élevée, quoique l'effort produit par l'oiseau soit le même sur les deux ailes.

On vient de voir quel est le mécanisme du vol ordinaire des oiseaux, ou vol ramé; ce qui a été dit dans le chapitre précédent suffit à expliquer le mécanisme du vol plané, du moins quand il a lieu

suivant une chute oblique, ou pendant quelque temps, après que l'oiseau, par un vol ramé antérieur, a acquis une certaine vitesse. Mais, en vertu du principe de la conservation de l'énergie, on ne saurait admettre un planement continu de longue durée à un niveau constant. Comme le remarque lord Raleigh, un tel mouvement impliquerait: 1° que la course n'est pas horizontale; 2° que le vent n'est pas horizontal, ou 3° que le vent n'est pas uniforme. La vérité, dit-il, est probablement dans les deux premières hypothèses, mais la question est de savoir si la dernière n'est pas quelquefois exacte.

Le vol à la voile.

Beaucoup d'oiseaux, les condors, les vautours, les albatros, les malamocks, etc..., ne battent presque jamais leurs ailes quand ils volent. On peut les observer pendant des heures entières, montant, descendant, décrivant des orbes très allongés ou tournant suivant des cercles très étroits, sans un mouvement de leurs grandes ailes constamment déployées, sans qu'ils paraissent produire le moindre effort. Ce phénomène a été relaté par beaucoup de savants d'une grande autorité

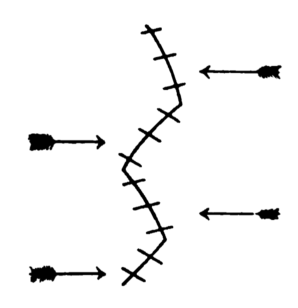
l'auteur lui-même l'a observé bien souvent, et une fois dans des conditions particulièrement intéressantes. Par un vent debout dont la vitesse mesurée à l'anémomètre était de 18 à 20 mètres par seconde, avec une vitesse au loch de 7 nœuds, soit environ $3^{m},5$ par seconde, il a, pendant près d'une heure, observé à une distance ne dépassant jamais 5 mètres, une mouette suivre le navire sans faire aucun battement d'ailes, sans qu'à cette faible distance il pût constater le moindre frémissement des plumes des ailes ou de la queue; il a remarqué simplement un léger balancement du reste lent et irrégulier de tout le corps de l'oiseau; il y avait même des intervalles de plusieurs minutes pendant lesquelles ce balancement lui-même n'était pas perceptible. Donc, cet oiseau semblable à une masse presque inerte, sans aucun effort apparent, non seulement résistait à un vent réel de 17 mètres par seconde, mais encore progressait contre ce vent avec une vitesse absolue de plus de 3 mètres par seconde, ayant par rapport à lui une vitesse relative de 20 mètres par seconde. Il se maintenait ainsi sans que son niveau baissât, et cependant le vent était horizontal; la fumée qui s'échappait de la cheminée du navire montrait qu'il ne



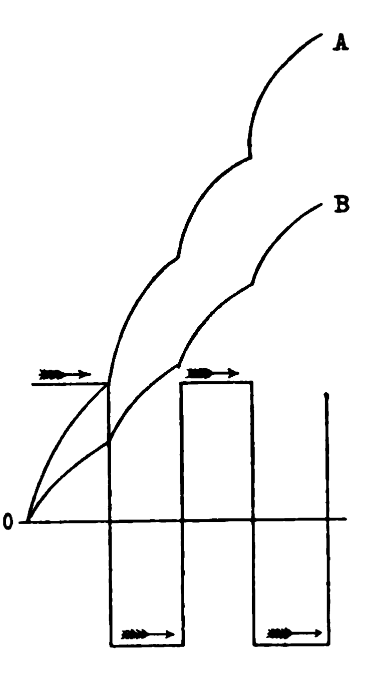
pouvait venir d'en bas. Ce fait paraît paradoxal et en contradiction avec les données les plus positives de la mécanique. On en a recherché une explication sans y parvenir d'une façon satisfaisante. Nous allons rapporter la théorie que le professeur Langley a donnée du vol à la voile.

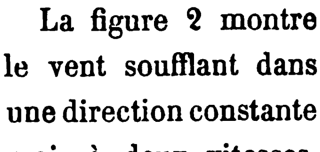
On a vu déjà qu'un plan incliné, retenu par une glissière verticale ou par une corde, montait verticalement quand il recevait, sur sa face inférieure, l'action d'un vent assez fort. On a vu aussi qu'un tel plan monterait et serait soutenu pendant un certain temps, même si les glissières ou la corde étaient supprimées, leur action étant momentanément remplacée par l'inertie du plan pesànt. Si sa surface est suffisante par rapport à son poids, quand il est ainsi soumis à l'action d'un vent horizontal, il commence par se mouvoir, non dans le sens du vent, mais presque verticalement. Mais cette inertie qui fait d'abord monter le plan sera vite épuisée, et à mesure qu'il sera de plus en plus entraîné par le vent, la force ascensionnelle ira en diminuant, et le plan finira par tomber. Si, cependant, avant que l'effet de l'inertie soit épuisé et que le plan commence à tomber, il se produit un contre-courant, il nous suffit de supposer le

plan retourné de 180° autour d'un axe vertical, sans autre dépense d'énergie, pour que l'ascension continue, par ce fait que l'inertie réapparaît. Le mouvement continu que prendrait ainsi ce plan, doué de la propriété de pivoter en temps utile de 180° autour d'un axe vertical, serait celui qui est représenté par la figure 1.

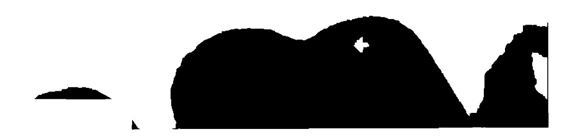


Il semble d'abord impossible de trouver un vent qui souffle ainsi alternativement dans un sens et dans un autre, mais on va voir que la chose devient virtuellement possible par une méthode que nous allons exposer.





La figure 2 montre le vent soufflant dans une direction constante mais à deux vitesses très différentes, ou plutôt

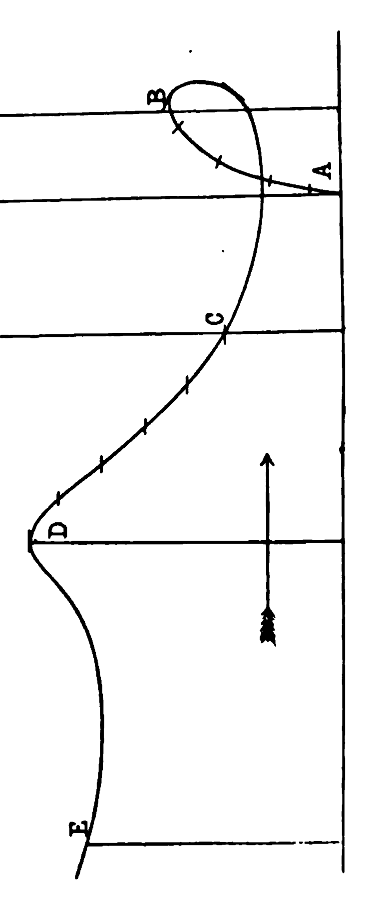


l'une de ces vitesses étant supposée négligeable, le vent présentant des pulsations successives de même sens, séparées par des intervalles de calme. Il faut remarquer que si ces deux vitesses différentes sont dans le même sens par rapport à un point fixe, elles sont cependant en sens contraire par rapport à un point animé dans le même sens d'une vitesse égale à la vitesse moyenne du vent, et que, dans ces conditions, le vent supposé exercera sur un plan que son inertie entraînera dans le sens du vent d'un mouvement sensiblement uniforme, avec la vitesse moyenne du vent, la même action qu'un vent alternatif agissant sur un plan pivotant autour d'un axe vertical de 180°, pourvu que l'inclinaison (constante) du plan change alternativement avec les changements de vitesse du vent. Le mouvement d'ascension sera plus rapide au commencement de chaque période et ira en diminuant à mesure que la dérive diminue la vitesse relative. On voit aussi que le mouvement ascensionnel total sera d'autant plus rapide que les pulsations seront plus fréquentes.

Ceci posé, examinons un plan pesant incliné en A et soumis à l'action d'un vent soufflant dans le sens de la flèche, mais seulement pendant des

périodes de 5 secondes par exemple, séparées par des intervalles de calme de même durée.

A cause de son inertie, le plan suivra d'abord le trajet AB; supposons qu'en B, où il est parvenu quand la première période de calme commence, le plan change d'inclinaison autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan de la figure, de façon à ce qu'il tombe d'abord presque verticalement et qu'il acquiert ainsi une grande vitesse lui faisant parcourir la courbe BC de façon qu'en chaque point le plan soit tangent à cette trajectoire. Après les cinq secondes de calme il a atteint le point C,



près du point le plus bas de sa chute, qu'aucune raison mécanique n'empêcqe de supposer plus

élevé que le point A. Le vent recommence alors à souffler et, à cause de la vitesse acquise, le plan se présente dans des conditions bien plus favorables en C qu'il ne faisait en A ; il monte alors suivant la courbe CD en conservant son inclinaison constante. Arrivé en D, le calme recommence et, l'inclinaison du plan changeant, il tombe en E, E étant plus haut que C, et reprenant sa première inclinaison par l'effet de sa vitesse de chute, il la conserve et continue à remonter. Le plan continue donc à progresser ainsi contre le vent tout en montant, et cela sans qu'il soit nécessaire de produire autre chose qu'un changement d'inclinaison au commencement de chaque période de calme.

Pour admettre que le vol à la voile chez les oiseaux se produit de cette façon, il faut leur reconnaître un sens spécial qui leur ferait ressentir l'instant exact où les périodes de calme commencent, et qui leur ferait changer alors l'orientation de leur plan de sustentation ; ou bien, il faut que ce changement d'orientation se fasse automatiquement et inconsciemment. Pour qu'il y ait progression il faut aussi que l'espace que l'oiseau peut gagner horizontalement en tombant soit plus grand que celui qu'il peut perdre en dérivant ; pour cela

si les périodes d'alternance ne sont pas excessivement courtes, il faut que l'inertie soit assez grande, c'est-à-dire que l'oiseau soit lourd; et le fait est qu'on a observé que les oiseaux assez lourds pouvaient seuls voler à la voile, ce qui augmenterait encore la force du paradoxe apparent que présente ce phénomène. On peut admettre que le balancement de l'oiseau, nécessaire pour obtenir les changements d'inclinaison des ailes, est automatique. En effet, dans le mouvement contre le vent, le point de sustentation est d'autant plus rapproché de l'avant du plan que la vitesse est plus grande (V. chapitre précédent [*b*]); l'inclinaison étant constante alors, le centre de gravité est également sur l'avant; quand le calme se produit, le point de sustentation est reporté sur l'arrière, le centre de gravité ne bougeant pas, le plan tombe naturellement sur l'avant; le calme survenant plus tôt sur l'avant de l'oiseau que sur l'arrière, ce mouvement ne peut que s'en trouver facilité, surtout si la queue est normalement un peu rabattue par en bas.

Mais la base de toute cette théorie consiste dans une alternance rapide de deux vitesses différentes du vent. Or, tous ceux qui ont mesuré la

force du vent avec un anémomètre, dont le mouvement est enregistré d'une façon quelconque, ont pu observer que le vent n'est pas régulier, et qu'après une période de très grande vitesse il se produit un calme relatif après lequel la vitesse augmente pour diminuer encore. Le professeur Langley, frappé de cette remarque, s'est demandé si l'on n'avait pas eu tort de considérer jusqu'ici le vent comme un déplacement en masse et parallèle de toutes les molécules d'air entraînées, au moins pour une certaine zone, et s'il ne conviendrait pas plutôt de penser qu'il y a dans la masse d'air en mouvement des condensations et des dilatations qui feraient qu'il y aurait, indépendamment du mouvement général, une sorte de mouvement oscillatoire interne. Dans le cas de l'affirmative il s'est proposé de mesurer ces oscillations et, dans ce but, il a fait construire des anémomètres très légers, ne présentant qu'un faible moment d'inertie, de façon que toutes les variations de vitesse fussent plus exactement enregistrées. Il arriva à des conclusions remarquables, et trouva que ses prévisions étaient confirmées dans une plus grande mesure qu'il ne l'aurait cru. Il est à noter que des anémomètres si légers qu'ils fussent ont encore une cer-





taine inertie, et que les résultats obtenus doivent être encore exagérés. Il faut remarquer aussi qu'ils ne permettent de mesurer que la vitesse du vent en un point; la difficulté de combiner entre eux les résultats obtenus par différents anémomètres convenablement groupés ne permet pas non plus de déterminer exactement la nature du mouvement soupçonné et constaté par le professeur Langley. L'auteur, qui avait lu *The internal work of the wind,* dans lequel le distingué secrétaire du Smithsonian Institute avait exposé ses vues, a pu observer un fait qui appuierait sa manière de voir. La nuit étant noire, la brise assez faible et paraissant régulière, il tombait une pluie fine et serrée; un projecteur électrique d'un navire voisin pointa horizontalement un faisceau lumineux dans un plan que l'observateur voyait à peu près perpendiculairement à 300 mètres; or, la pluie très fine, obéissant au mouvement de l'air, accusait nettement des ondes se succédant dans la direction du vent comme les vagues paraissent se suivre dans la même direction; et ces ondes semblaient provenir d'un mouvement oscillatoire autour d'un axe horizontal, dont la période complète aurait été de plusieurs secondes, l'amplitude paraissant être de 2 mètres



à 5 mètres. Ce phénomène ayant été fortuit et passager, l'auteur n'a pu l'examiner qu'imparfaitement, et il n'a pu faire aucune mesure; mais il en a été frappé, et il a pensé que des expériences de ce genre convenablement réglées pourraient confirmer utilement les observations du professeur Langley.

La théorie qui vient d'être exposée ménage le principe de la conservation de l'énergie, puisque le travail produit pour vaincre la résistance au vent et pour assurer la sustentation permanente est demandé à ce mouvement intérieur qu'il ne faut pas confondre avec un mouvement moléculaire, et qui peut produire ce que le professeur Langley a appelé le travail interne du vent. Mais pour que cette théorie puisse être définitivement adoptée, il faudrait la vérifier par la construction d'un oiseau mécanique inerte qui exécuterait automatiquement le vol à la voile.

Le savant américain, poussant plus loin ses conclusions, a proposé, comme engins de locomotion aérienne, des aérodromes basés sur les principes qu'on vient de voir. Ceux-ci, aussi grands et aussi lourds qu'on voudrait, auraient une machine et une réserve de combustible pour pouvoir voler en



temps calme; mais ils pratiqueraient ordinairement le vol à la voile, et ils pourraient ainsi faire de très grands voyages, voire le tour du monde, sans toucher terre, n'utilisant qu'accidentellement la réserve de force qu'ils auraient emportée.

La description qu'on a vue plus haut de l'appareil de M. Mercer ne semble pas prouver que cet appareil soit conçu d'après les idées de Langley, au moins d'après celles qui viennent d'être développées. Il est probable qu'avant que l'aérodrome proposé par Langley puisse fonctionner, on aura réalisé quelque autre machine volante pratique. Plus tard, les considérations qui précèdent trouveront sans doute leur application et, dans certaines circonstances, il sera peut-être possible de ménager du travail, en pratiquant le vol à la voile, mais il serait présomptueux de tabler sur une théorie encore contestable pour construire un aviateur qui aurait du reste le tort de ne pouvoir fonctionner dans le cas particulier, assez fréquent, où il n'y aurait pas de vent.



APPENDICE

LE MOTEUR DES MACHINES AÉRIENNES

On a vu que la force de l'homme ne suffisait pas à vaincre la résistance à la propulsion que présentent les ballons. D'autre part, on a vu que l'homme ne pouvait songer à voler directement, avec des ailes artificielles, mais seulement avec un appareil spécial non encore réalisé, qui présentera des surfaces planes ou courbes en mouvement. Dans les deux cas il faut donc un moteur capable de fournir le travail que l'homme ne peut produire en quantité suffisante ; dans les deux cas la vitesse obtenue, que l'on doit chercher à rendre maxima, sera d'autant plus grande que l'on aura un moteur plus puissant.

Il a été vu déjà qu'il y avait avantage pour les ballons, au point de vue de la vitesse, à employer de gros tonnages ; on sait aussi que pour un avia-



teur le rendement croît avec les dimensions, par conséquent avec le poids qui peut être sustenté. Mais, dans les deux cas, il y a des limites pratiques, et le problème se réduit à rechercher quel est le moteur le plus convenable pour un poids disponible donné, qu'il s'agisse d'un ballon ou d'une machine volante quelconque.

Les moteurs que l'on peut actuellement employer se réduisent à trois types principaux: les machines à vapeur, les machines électriques et les moteurs à gaz. Recherchons les avantages et les inconvénients de chacun de ces types.

Nous disposons d'un poids limité, nous devons chercher à obtenir la plus grande somme de travail possible; nous devons donc rechercher le moteur le plus léger possible. Mais il y a deux façons d'envisager la question : ou la durée pendant laquelle le travail doit être dépensé n'importe pas, il faut alors rechercher un moteur dont l'unité de puissance soit aussi légère que possible, ou il importe que l'on puisse compter sur un débit de travail de longue durée, et il faut alors, non seulement un moteur léger par unité de puissance, mais il faut que la dépense d'une unité de travail pendant une unité de temps corresponde à une

addition de poids aussi faible que possible. Soit dans tous les cas P le poids disponible, et p le poids du moteur par unité de puissance, par cheval de force par exemple. On pourra embarquer un moteur de force $\frac{P}{p}$, et si l'on ne tient pas compte de la durée, ce qui revient à dire que la source qui alimente le moteur ne pèse rien, l'avantage sera certainement à la machine dynamo-électrique ; mais cette source est indispensable et elle a un certain poids qui dépend de la durée pendant laquelle on veut obtenir du travail. Examinons la question dans chaque cas particulier.

Pour qu'une machine à vapeur puisse fonctionner, il faut un générateur de vapeur, de l'eau et du combustible. Quand on aura épuisé l'approvisionnement d'eau et de combustible, le travail cessera, et le générateur se trouvera encore approvisionné. Avec une machine à haute pression et une chaudière à faible volume d'eau ou une chaudière sans eau (Serpollet) le poids sera minimum et le rendement meilleur. Une dépense d'un cheval pendant une heure représentera une dépense de combustible et de vapeur dont nous représenterons le poids par p'. (Nous supposons



qu'on n'emploie pas de condenseur, car il faudrait alors augmenter considérablement le poids p du moteur; d'ailleurs le fonctionnement d'un condenseur à air, seul admissible, est assez douteux); représentons par p_1 le poids du générateur approvisionné, et supposons que l'on veuille marcher pendant n heures, on devra avoir la relation

$$P \geqq p + p_1 + np'F.$$

Pour une machine à gaz, p représenterait toujours le poids du moteur proprement dit, p_1 serait le poids des réservoirs dans lesquels on emmagasinerait le gaz comprimé, et p' serait le poids du gaz dépensé par cheval-heure. Si ce moteur était à pétrole, p_1 représenterait le poids des récipients qui contiendraient ce liquide et du carburateur qui préparerait le mélange détonant, p' serait le poids de pétrole correspondant à un cheval-heure.

Pour une machine électrique, p serait le poids de la dynamo-motrice, p_1 serait le poids des piles ou des accumulateurs, p' serait nul puisque l'électricité est impondérable; mais il y aurait alors à considérer que le débit d'énergie d'une pile ou d'une batterie d'accumulateurs dépend de son poids, et si le poids correspondant à l'énergie dé-

pensée dans une heure est π, on devra avoir $p_1 = n\pi$, de sorte que pour une telle machine on aura l'une des deux relations

$$P \geqq p + p_1 F \quad \text{ou} \quad P \geqq p + n\pi F.$$

Dans une machine à vapeur p' atteint difficilement, dans les meilleures conditions, une valeur inférieure à 8 kilogr., soit 700 grammes pour le combustible et 7 kg,300 pour la vapeur ou pour l'eau ; dans un moteur à gaz p' descend au contraire facilement à 700 grammes. p est moindre pour une machine à gaz que pour une machine à vapeur, p_1 est également moindre si l'on emploie une machine à pétrole au lieu d'une machine utilisant directement du gaz comprimé. Supposons cependant que dans les deux cas la somme $p + p_1$ soit la même, et appelons ψ la différence $P - (p + p_1)$, nous aurons pour la machine à vapeur

$$\psi = np'F \quad \text{d'où} \quad n = \frac{\psi}{F \times 8^k} \text{ et } F = \frac{\psi}{n \times 8^k};$$

pour la machine à pétrole

$$\psi = np'F \quad \text{d'où} \quad n = \frac{\psi}{F \times 0.7} \text{ et } F = \frac{\psi}{n \times 0.7}.$$



On voit que la machine à pétrole est bien plus avantageuse, soit qu'il s'agisse de parcourir rapidement un espace assez court, soit qu'il faille marcher pendant longtemps avec une puissance moindre.

Si nous examinons maintenant le moteur électrique, en appelant $\mathfrak{P}'$ la différence $P - p$, nous aurons

$$\mathfrak{P}' = n\pi F \quad \text{d'où} \quad n = \frac{\mathfrak{P}'}{\pi F} \text{ et } F = \frac{\mathfrak{P}}{\pi n}.$$

Dans ces relations, $\mathfrak{P}'$ est plus grand que $\mathfrak{P}$, puisqu'il n'y a qu'un terme soustractif au lieu de deux, et que ce terme est encore plus petit que dans les deux cas précédents ; mais π est toujours considérable. On a vu que le capitaine Renard aurait pu malgré certains inconvénients graves le réduire à 9 kilogr. et que pour le ballon *la France* il n'était pas inférieur à 24 kilogr.

Si l'excédent $\mathfrak{P}$ pour un ballon ou un aviateur donné était très faible, le moteur électrique serait d'un emploi plus avantageux. Dans certains cas, il serait même indispensable ; ce serait par exemple si F était imposé, et si alors $\mathfrak{P}$ devait être nul ou négatif ; il se pourrait que $\mathfrak{P}'$ eût encore une certaine valeur, et l'on pourrait assurer la propulsion avec un

tel moteur, tandis que l'on ne pourrait même pas embarquer une machine à vapeur ou à gaz, encore moins du combustible. Il est vrai que, dans ce cas, on ne pourrait compter sur une marche de bien grande durée.

Actuellement, il est donç plus avantageux d'employer une machine à vapeur et surtout un moteur à pétrole qu'une machine électrique. Il n'en serait pas de même si l'on trouvait une source d'électricité pouvant fournir une grande quantité d'énergie pour un poids assez faible ; mais les piles les plus perfectionnées et les accumulateurs que l'on connaît aujourd'hui sont loin de remplir ces conditions. On vient de découvrir qu'on pouvait faire des accumulateurs d'électricité à gaz beaucoup moins lourds que ceux à plaques de plomb et à liquide jusqu'ici connus ; mais ces accumulateurs n'ont pu encore être réalisés en grand, et l'on ne sait pas jusqu'à quel point cette réalisation sera possible, ni quels sont les inconvénients et même les dangers qui résulteraient de leur emploi.

En l'état actuel des choses, le meilleur moteur et de beaucoup pour une machine aérienne, ballon ou aviateur, est donc le moteur à pétrole.

Il conviendra naturellement de le perfectionner,



car les moteurs construits ordinairement sont très mal conditionnés et surtout beaucoup trop lourds. Ils ont l'inconvénient de s'échauffer beaucoup, mais il n'est pas nécessaire de refroidir les moteurs dont la puissance ne dépasse pas certaines limites, et nous avons vu que les machines des aviateurs n'auront pas besoin d'être très fortes ; de plus on a vu aussi que le nombre des battements d'ailes pour un grand aviateur serait très faible, par conséquent un tel moteur se trouverait, au point de vue de l'échauffement, dans des conditions particulièrement favorables.

Pour un ballon, il importe aussi que le poids reste le plus constant possible : cette condition est parfaitement réalisée par l'emploi d'un moteur électrique aussi lourd après la dépense de toute l'énergie accumulée qu'avant ; il n'en est pas de même avec la machine à vapeur et avec le moteur à pétrole, mais l'inconvénient est moindre avec ce dernier qu'avec la première. Enfin cet inconvénient n'en est plus un pour l'aviateur, où toute diminution de poids entraîne une diminution de travail nécessaire.

Un exemple appuiera utilement les considérations qui précèdent.

On a vu que dans le ballon *la France* la machine électrique pesait 98 kilogr. et que le poids disponible pour la source électrique était de 480 kilogr. Avec une pile dont le débit était de 1 cheval-heure par 24 kilogr. de poids, on a pu embarquer une énergie de 20 chevaux-heure, soit une énergie de 10 chevaux pendant 2 heures.

Si l'on avait pris comme moteur une machine à vapeur, celle-ci, avec son générateur approvisionné et pour la même force de 10 chevaux, aurait pesé au plus 350 kilogr.; il serait resté un poids disponible pour l'eau et le charbon de $480 + 98 - 350 = 228$ kilogr., ce qui aurait représenté une réserve d'énergie de $\frac{228}{8} = 28.5$ chevaux-heure. Avec une machine ne pesant que 200 kilogr., soit 20 kilogr. par force de cheval, on aurait eu assez d'eau et de charbon pour produire un travail de $\frac{378}{8} = 47.25$ chevaux-heure, suffisant pour assurer une marche de $4^h 40^m$ dans les mêmes conditions de vitesse qu'avec la machine électrique.

Si l'on avait employé un moteur à gaz de 10 chevaux, celui-ci n'aurait pas pesé plus de 150 kilogr. et l'énergie emportée aurait été représentée par $\frac{428}{0.700} = 610$ chevaux-heure, soit



une marche de 61 heures, toujours avec la même vitesse.

On aurait obtenu une vitesse moitié plus grande avec une machine de 37.5 chevaux qui n'aurait pas pesé 500 kilogr., et l'on aurait disposé d'une énergie de $\frac{78}{0.700} = 110$ chevaux-heure représentant une marche de près de 3 heures. Ce résultat n'aurait pu être atteint avec une machine à vapeur trop lourde pour pouvoir être embarquée. On aurait pu atteindre la même vitesse avec une dynamo, mais on n'eût pu marcher que pendant quelques minutes.

Cet exemple suffit à faire ressortir la supériorité évidente du moteur à gaz sur la machine à vapeur et sur la machine électrique.

Nous n'avons pas insisté sur la facilité de réapprovisionnement et sur le prix de revient de l'énergie utilisée; il est évident qu'il y a lieu d'en tenir compte dans la pratique, et on voit encore que c'est le moteur à pétrole qui a l'avantage.

TABLE DES MATIÈRES

Nancy, imprimerie Berger-Levrault et Cie.

BERGER-LEVRAULT ET Cie, ÉDITEURS

Paris, 5, rue des Beaux-Arts. — Nancy, 18, rue des Glacis.

Bibliothèque du Marin

·vice administratif à bord des navires de l'État. *Manuel du commandant-comptable t de l'officier d'administration*, par C. Neveu et A. Jouan, commissaires de la marine. :ᵉ édition, tenue à jour jusqu'au n° 26 du Bulletin officiel de 1895. Un volume grand ɔ-8° de 600 pages . . . . **10 fr.**
'elié en percaline . . . . **11 fr. 50 c.**
(Ouvrage rendu réglementaire à bord des navires de la flotte et dans les bibliothèques des dépôts des équipages.)

eorie du Navire, par E. Guyou, capitaine de frégate, membre de l'Institut. Suivie d'un :raité des évolutions et allures par le contre-amiral Mottez. (*Ouvrage couronné par 'Académie des Sciences.*) 2ᵉ édition. 1894. Un volume in-8° de 440 pages, avec 150 ;gures. . . . . **7 fr. 50 c.**

ırs élémentaire d'Astronomie, par E. Guyou, capitaine de frégate, membre de l'Institut, ·t Willotte, ingénieur des ponts et chaussées. Un volume in-8° avec 170 figures dans le ·xte et deux planches. . . . . **10 fr.**

:ments de Navigation et de Calcul nautique, précédés de notions d'astronomie, par : -B. Guilhaumon, ancien officier de vaisseau, professeur d'hydrographie. 1ʳᵉ partie : *Astro- ·omie et navigation*, in-8°. 2ᵉ partie : *Types de calculs nautiques*, in-4°. Ensemble : vol. avec 145 gravures et 2 planches. . . . . **12 fr.**

iité d'Artillerie, à l'usage des officiers de marine, par E. Nicol, lieutenant de vaisseau. :n volume in-8° de 336 pages, avec 86 figures . . . . **6 fr.**

:ments de Météorologie nautique, par J. de Segny, lieutenant de vaisseau, membre de a Société météorologique de France. Un volume in-8° de 500 pages, avec 57 figures et ılanches. . . . . **6 fr.**

écis du Droit maritime international et de diplomatie, d'après les documents les plus ·écents, par A. Le Moine, capitaine de vaisseau, licencié en droit. Un volume in-8° de 360 pages . . . . **6 fr.**

itoire des Flottes militaires, par Ch. Chabaud-Arnault, capitaine de frégate de réserve. '*Ouvrage adopté pour l'École navale.*) Un volume in-8° de 512 pages avec 10 plans de ɔatailles. . . . . **6 fr.**

urs élémentaire d'Électricité pratique, par H. Leblond, professeur d'électricité à l'École les officiers torpilleurs. 2ᵉ édition, revue et corrigée. 1896. Un vol. in-8° de 455 p., avec 164 figures, broché . . . . **7 fr.**

ɔctricité expérimentale et pratique. Cours professé à l'École des officiers torpilleurs, ɔar H. Leblond, agrégé des sciences physiques, ancien élève de l'École normale supérieure. :ᵉ édition. 1894-1895. 4 volumes in-8°.

Tome I. — Étude générale des phénomènes électriques et des lois qui les régissent. Un volume in-8° de 293 pages, avec 84 figures et 3 planches. . . . . **6 fr.**
Tome II. — Mesures électriques. Un volume in-8° de 273 pages, avec 95 figures. **6 fr.**
Tome III. — Description et emploi du matériel électrique a bord des navires.
1ᵉʳ fascicule. — Un volume in-8° de 300 pages, avec 119 figures. . . . . . . **6 fr.**
2ᵉ fascicule. — Un volume in-8° de 468 pages, avec 112 figures . . . . **8 fr.**

s Moteurs électriques à courant continu, par le même. Un volume in-8° de 500 pages, ıvec 120 figures . . . . **10 fr.**

rpilles et Torpilleurs des nations étrangères, suivis d'un *Atlas des flottes étrangères*, ɔar H. Buchard, lieutenant de vaisseau. Un vol. in-8° de 254 pages et 114 planches. **6 fr.**

rines étrangères. Situation. Budget. Organisation. Matériel. Personnel. Troupes. Défenses sous-marines. Armement. Défenses du littoral. Marine marchande (*Allemagne, Angleterre, République Argentine, Autriche-Hongrie, Brésil, Bulgarie, Chili, Chine, Danemark, Espagne, États-Unis, Grèce, Hollande, Italie, Japon, Norvège, Portugal, Roumanie, Russie, Suède, Turquie*), par H. Buchard. Ouvrage contenant 30 planches d'uniformes et l'insignes. Un volume in-8° de 636 pages. . . . . **10 fr.**

Nancy, imprimerie Berger-Levrault et Cie




LIBRARY OF CONGRESS
0 013 505 238 3